Agriculture Canada

Amélioration génétique des animaux

Progrès récents et perspectives

630.4
C212
P
NO.1824
1989 c.3

Amélioration génétique des animaux

Progrès récents et perspectives

Centre de recherches zootechniques
Direction générale de la recherche
Agriculture Canada

Publication 1824/F
1989

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1989

En vente au Canada par l'entremise
de nos agents libraires agréés et
autres librairies, ou par la poste au

Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnements et Services Canada
Ottawa (Ontario) Canada K1A 0S9

N° de catalogue : A63-1824/1989F
ISBN : 0-660-92409-9

Données de catalogage avant publication (Canada)

Amélioration génétique des animaux : progrès récents et perspectives

«Ce rapport a été présenté en partie au symposium 'Genetics in Agriculture', organisé dans le cadre de l'assemblée annuelle de La société de génétique du Canada en 1983.»
--Préf.
Publié aussi en anglais sous le titre : Animal breeding : recent advances and future prospects.
Publié par : Agriculture Canada.
Comprend un index.
Bibliogr. :

1. Bétail--Élevage. 2. Génétique. I. Rousseau, Normand 1951-. II. Centre de recherches zootechniques (Canada). III. Canada. Agriculture Canada. IV. Coll.: Publication (Canada. Agriculture Canada). Français; 1824F

SF105.A514/1989 636.08'2 C89-099207-X

Rédaction-édition
Normand Rousseau

AUTEURS

J.S. GAVORA
Centre de recherches zootechniques, Agriculture Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0C6

T.R. BATRA
Centre de recherches zootechniques, Agriculture Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0C6

D.E. BERNON
Centre de recherches zootechniques, Agriculture Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0C6

J.R. CHAMBERS
Centre de recherches zootechniques, Agriculture Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0C6

M.H. FAHMY
Station de recherches d'Agriculture Canada, Lennoxville (Québec) J1M 1Z3

R.W. FAIRFULL
Centre de recherches zootechniques, Agriculture Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0C6

A.A. GRUNDER
Centre de recherches zootechniques, Agriculture Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0C6

A.J. LEE
Centre de recherches zootechniques, Agriculture Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0C6

J. NAGAI
Centre de recherches zootechniques, Agriculture Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0C6

J.N.B. SHRESTHA
Centre de recherches zootechniques, Agriculture Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0C6

J. WILTON
Département des sciences zootechniques et avicoles, Université de Guelph, Guelph (Ontario) N1G 2W1

Les recommandations concernant l'utilisation de pesticides ou de médicaments à usage vétérinaire contenues dans cette publication doivent être considérées comme des lignes directrices seulement. On doit effectuer toute application de pesticide selon le mode d'emploi imprimé sur l'étiquette du produit en question, tel que prescrit par la *Loi sur les produits antiparasitaires*. **Toujours lire l'étiquette**. Les autorités provinciales émettent également des recommandations concernant l'utilisation des pesticides. Puisque ces recommandations peuvent varier d'une province à l'autre, on doit consulter le représentant provincial pour les questions d'agriculture pour obtenir un conseil particulier.

TABLE DES MATIÈRES

Préface vii

Remerciements viii

Introduction 1
Importance des produits d'origine animale 3
Secteurs de l'amélioration génétique des animaux 5
Recherches en amélioration génétique des animaux 7

Progrès et perspectives, par espèce et par produit 9
Bovins laitiers 9
Bovins de boucherie 13
Ovins 20
Porcins 26
Poulets de ponte 36
Poulets de chair 42
Progrès généraux et perspectives 48

Réalisations de la recherche scientifique en amélioration génétique des animaux 51
Génétique quantitative et statistique 52
Génétique biochimique et physiologique 60
Génétique de la résistance aux maladies 65
L'amélioration génétique des animaux grâce aux technologies de la reproduction 70
Génétique moléculaire 75

Conclusion 81

Bibliographie 83

Index 119

LISTE DES TABLEAUX

1. Effectif des populations animales 3
2. Estimations des tendances génétiques et phénotypiques dans le cheptel laitier canadien 11
3. Évolution de la valeur moyenne d'élevage estimative de la descendance des taureaux dans le cadre du Programme canadien d'évaluation des taureaux de boucherie 15
4. Évolution des catégories du boeuf vendu dans la catégorie A 16
5. Évolution des caractéristiques des carcasses de boeuf, 1972–1981 17

6. Évolution des performances des truies des porcheries québécoises, 1980–1986 **28**

7. Effet moyen d'hétérosis individuel et maternel mis en évidence par les études sur le croisement des porcins **29**

8. Résultats de certains programmes de sélection visant à améliorer la qualité de la carcasse et l'efficacité alimentaire chez les porcins **32**

9. Changement phénotypique annuel moyen dans les performances des pondeuses commerciales, estimé à partir d'une moyenne combinée de tous les échantillonnages aléatoires effectués en Amérique du Nord, 1970–1977 **38**

10. Changement génétique annuel moyen dans les performances des pondeuses commerciales, estimé à partir des contrôles de la production d'oeufs dans le centre du Canada, 1970–1980 **39**

LISTE DES FIGURES

1. Rapport entre le taux de reproduction des femelles et le nombre d'élevages – bovins, ovins, porcins et poulets **6**

2. Domaines de la génétique intéressant l'amélioration génétique des animaux, leur effet prévu sur les programmes pratiques d'amélioration génétique et leur contribution prévue à de nouvelles découvertes **82**

PRÉFACE

Les auteurs de ce rapport ont voulu faire un tour d'horizon de l'amélioration génétique des animaux, ce qui, à leur connaissance, n'a pas été réalisé auparavant. Comme il aurait été extrêmement difficile à une seule personne d'entreprendre une telle tâche, un groupe de chercheurs a collaboré à cette publication qui s'adresse aux généticiens, plus particulièrement à ceux qui oeuvrent dans d'autres domaines que l'amélioration génétique des animaux. Ce document pourrait s'avérer fort utile aux nouveaux venus dans le secteur de l'amélioration animale, ainsi qu'aux responsables de recherche et aux organismes de financement. De plus, le lecteur trouvera, à la suite du texte, une longue liste d'ouvrages de référence, qui devrait constituer une précieuse bibliographie dans le domaine de l'amélioration génétique des animaux.

Ce rapport a été présenté en partie au symposium «Genetics in Agriculture», organisé dans le cadre de l'assemblée annuelle de La société de génétique du Canada en 1983.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier Sylvie Brissette, réviseur à contrat, Normand Rousseau du Service aux programmes de recherches d'Agriculture Canada, J.P. Chesnais du Développement des productions animales et Martin Lessard du Centre de recherches zootechniques pour leur contribution à la rédaction du présent rapport. Ils remercient également Claire Lamoureux et son personnel, responsables du traitement de texte.

INTRODUCTION

J.S. Gavora

L'amélioration génétique des animaux représente l'une des plus anciennes techniques auxquelles l'homme a eu recours pour se nourrir et se vêtir. La modification des espèces domestiquées grâce à un élevage sélectif visant à produire des races et des types mieux adaptés aux besoins de l'homme a été pratiquée bien avant que l'amélioration génétique ne devienne une discipline scientifique. La plupart des races d'animaux et de volailles que l'on connaît aujourd'hui existaient déjà au début du XXe siècle, à l'époque où l'on jetait les premiers fondements scientifiques des théories actuelles de l'amélioration génétique. La diversification des races au sein des espèces d'animaux domestiqués s'illustre aujourd'hui par l'existence de races laitières et de races de boucherie chez les bovins, et par l'existence de types élevés pour la chair et de types élevés pour la ponte chez les poulets. On retrouve des différences morphologiques et physiologiques aussi importantes parmi les races porcines et ovines. Le fait que leur formation ait nécessité beaucoup de temps, de plusieurs dizaines à des centaines d'années, constitue une caractéristique commune à la plupart des races. Dans de nombreux cas, l'origine des races anciennes est trop lointaine pour que l'on puisse l'identifier avec certitude.

La manipulation du processus de reproduction et du génome animal, réalisée grâce aux récents progrès scientifiques, démontre qu'il est maintenant possible de provoquer des changements morphologiques et physiologiques extrêmement rapides. Par exemple, on a obtenu, en injectant des gènes d'hormones de croissance de rat dans des oeufs de souris (Palmiter et coll., 1982*a*), une augmentation de la taille chez les souris comparable à la différence de grosseur qui existe entre des races de chevaux telles que le Percheron et le poney Shetland. Pourtant, ce changement s'est produit en un temps très court. La génétique et l'amélioration génétique sont donc entrées dans une ère toute nouvelle, où l'on dispose de techniques de manipulation génétique de plus en plus variées et de qualités diverses. Ces techniques devraient, à la longue, nous permettre de réaliser des changements qui, à l'heure actuelle, semblent dépasser l'imagination. De plus, notre compréhension de plus en plus grande du génome et de sa complexité nous amène à douter de ce que nous pensions être unique aux systèmes biologiques. En effet, les instructions génétiques codées de façon linéaire dans le génome représentent des données auxquelles peuvent s'appliquer les principes généraux et les techniques de la théorie de l'information.

Bien que la génétique ait avancé à grands pas au cours des vingt dernières années, nous commençons à peine à comprendre le fonctionnement des gènes chez les eucaryotes et nous ignorons presque tout de la syntaxe et de la grammaire du génome. L'état

actuel de nos connaissances sur le génome rappelle la situation du jeune Tarzan, héros d'une série de 23 récits (1912–1919) d'Edgar Rice Burrows qui racontent la vie d'un enfant élevé dans la jungle par les grands singes. Quand, encore jeune, Tarzan découvre les livres de ses parents, il apprend rapidement à reconnaître des lettres et même des mots simples. Peu à peu, il commence à saisir le sens de mots plus longs, de phrases et de textes entiers. À force de persévérer, il finit par apprendre à lire et retourne à la civilisation. Comme le jeune Tarzan, les généticiens ne sont qu'au début de leur entreprise, à la recherche d'une meilleure compréhension du génome au niveau moléculaire. Néanmoins, il ne fait aucun doute que le processus a été amorcé et se poursuit.

Les changements qui s'annoncent, leurs effets potentiels sur l'amélioration génétique et la nécessité de trouver un juste milieu entre les méthodes classiques et les nouvelles approches constituent les principaux facteurs qui ont motivé la rédaction du présent rapport. Au Canada, la plus récente étude de la même nature avait été publiée par Fredeen en 1977. En 1982, dans le cadre d'un symposium consacré aux progrès futurs de l'amélioration génétique des animaux, Skjervold a présenté un tour d'horizon des recherches effectuées au cours des 20 années précédentes sur l'amélioration génétique des bovins, des ovins et des porcins et a formulé plusieurs hypothèses au sujet des directions que ce domaine pourrait prendre. Il a conclu que cette période avait produit de bons résultats et que le taux d'amélioration génétique avait augmenté. Il a également prédit que l'on pourrait fort bien voir se généraliser avant la fin du siècle, de nouvelles techniques telles que la détermination du profil biophysique, la manipulation des embryons, le génie génétique, la tomographie par ordinateur et les stratégies de reproduction faisant intervenir plusieurs races. Dickerson et Willham (1983) ont considéré les travaux réalisés et les avenues futures dans le domaine de la recherche génétique pour rendre les productions animales plus efficaces. Ils ont souligné plusieurs grandes découvertes qui ont été faites à la suite de travaux théoriques, de simulations par ordinateur et d'expériences sur des animaux : un grand nombre de gènes détermine les caractères quantitatifs; les effets pléiotropiques ou épistatiques négatifs sur les caractères de la reproduction découlent d'une sélection outrée pour les caractères quantitatifs; c'est en relâchant la sélection que l'on commence à perdre les gains génétiques réalisés; l'effectif et la structure des populations, les données sur les apparentés, des coefficients précis de pondération économique et les paramètres génétiques sont autant de facteurs qui contribuent de façon importante à la réussite de la sélection.

Fredeen (1977) affirmait que l'amélioration génétique des animaux avait progressé bien au-delà de ses applications pratiques, et cela est peut-être encore plus vrai aujourd'hui que jamais auparavant. Un examen minutieux des réalisations passées et des perspectives devrait donc être d'une grande utilité pour poursuivre l'amélioration des animaux domestiques.

De façon générale, la présente étude a pour but :

- d'évaluer d'un oeil critique les progrès réalisés dans les pratiques et les recherches en amélioration génétique depuis une vingtaine d'années chez les espèces les plus communes d'animaux domestiques et de volailles;
- d'identifier les principaux facteurs qui ont contribué à ces progrès;
- de prévoir l'orientation future des améliorations génétiques;
- de définir les principaux domaines sur lesquels il faudrait se concentrer;
- d'examiner le rôle des diverses disciplines scientifiques ou des divers domaines de recherche se rapportant à l'amélioration animale, du point de vue de leurs effets et interactions passés et futurs.

IMPORTANCE DES PRODUITS D'ORIGINE ANIMALE

Le tableau 1 indique l'effectif des populations de bovins, d'ovins, de porcins et de poulets au Canada, en Amérique du Nord (Canada, États-Unis et Mexique) et dans le monde, ainsi que l'effectif par rapport au nombre d'habitants (FAO–OMS–OIE 1986). Notre étude s'est limitée à ces quatre espèces parce que les autres espèces comme le chameau, la chèvre, le lama, le dindon et le lapin sont relativement peu importantes, notamment à l'échelle mondiale.

L'omission des espèces aquatiques pourrait sembler injustifiée étant donné qu'elles représentent une proportion importante et de plus en plus grande des ressources alimentaires d'origine animale. De plus, l'application des techniques d'amélioration génétique des animaux aux poissons, coquillages et crustacés en aquaculture va

Tableau 1 Effectif des populations animales

	Nombre total (en millions)			Par centaine d'habitants		
Espèces	Canada	Amérique du Nord et Amérique centrale	Monde	Canada	Amérique du Nord et Amérique centrale	Monde
Bovins	11,5	171	1 272	44	42	26
Ovins	0,7	21	1 146	3	5	23
Porcins	10,7	91	822	41	22	17
Poulets	99,3	1 602	8 924	382	394	181

Source : FAO–OMS–OIE, 1986.

prendre vraisemblablement une grande importance dans l'alimentation humaine. L'évaluation des essais de sélection montre qu'il existe de bonnes possibilités d'amélioration génétique du poisson (Gjedrem, 1983). Toutefois, notre étude n'aborde pas ce nouveau domaine.

L'effectif des troupeaux mondiaux témoigne de l'importance des animaux dans l'alimentation humaine. Certaines régions du globe, notamment en Asie, en Australie et en Afrique, sont consacrées presque exclusivement à l'élevage. Il n'y a qu'environ 11,5 % des terres du globe qui peuvent servir à la production céréalière, tandis que le double est disponible pour les pâturages. L'élévation du niveau de vie, particulièrement dans l'hémisphère nord, entraîne une augmentation de la consommation d'aliments d'origine animale. Par exemple, plus de 40 % des aliments consommés aujourd'hui aux États-Unis sont d'origine animale.

Alors que la plupart des aliments d'origine végétale semblent être produits à partir de 15 à 20 espèces de plantes, la plupart des aliments d'origine animale ne proviennent que de quatre espèces. Ce nombre restreint d'espèces animales permet de concentrer les recherches zootechniques et d'appliquer les nouvelles découvertes et améliorations à de grandes populations, les seules contraintes étant les différences de milieux. À mesure que la production animale moderne cesse de dépendre du milieu naturel (par exemple dans le cas des volailles et des porcins), il devient plus facile d'appliquer les grandes découvertes à l'échelle mondiale. Étant donné l'importance des troupeaux et la nature cumulative des effets, même de petites améliorations génétiques peuvent offrir d'énormes avantages économiques.

Le nombre réduit d'espèces jouant un rôle important démontre également la grande vulnérabilité de la production animale dans son ensemble. L'apparition d'agents pathogènes très virulents, comme le virus de la fièvre aphteuse, peut décimer d'importantes populations animales. Un autre danger qui se présente est la réduction de la diversité génétique disponible qu'entraîne l'extinction de certaines races, souches ou lignées. Il peut être dangereux de réduire la base génétique d'espèces importantes, particulièrement lorsque l'on remplace des races indigènes peu productives par des races importées très productives. Par ces substitutions, on risque de perdre d'importants gènes responsables de la résistance aux maladies.

Les efforts internationaux visant à préserver les ressources animales remontent à 1960, année où l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) a lancé une série de consultations d'experts sur le sujet. La FAO et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) ont par la suite organisé d'autres activités dont une autre consultation technique en 1980 et le lancement du bulletin *Animal Genetic Resources Information* en 1983. Ces deux organismes s'occupent actuellement, entre autres, de mettre sur pied des banques de données sur les ressources génétiques animales, de constituer des banques de gènes

pour l'entreposage de semences et d'embryons congelés, d'étudier les races moins connues et de former des chercheurs et des administrateurs dans le domaine de la conservation et de l'effectif des ressources animales (Hodges, 1986). Le domaine animal marque un retard considérable par rapport au domaine végétal pour ce qui est de la préservation et de la gestion des ressources génétiques. Les efforts se concentrent sur les pays en développement, et on se préoccupe peu de la réduction de la base génétique de certaines espèces dans les pays développés. En fait, Land (1986) a fait valoir qu'il est faux de penser que l'on doit préserver les populations actuelles pour maintenir la diversité génétique et laisser la porte ouverte à une évolution future. Même si ces populations étaient préservées, pense-t-il, il est peu probable que l'on puisse les utiliser efficacement.

Il semble que la réduction de la base génétique se manifeste de façon plus poussée dans l'élevage des dindons. Seulement trois ou quatre entreprises font de la sélection génétique et approvisionnent aujourd'hui en dindonneaux la quasi-totalité des producteurs de dindons du monde entier. Si cette situation persiste, elle pourrait être dangereuse parce que l'on ne prévoit pas, du moins dans un proche avenir, pouvoir substituer le matériel génétique perdu par de nouveaux gènes synthétiques. Ce problème, de même que les pressions de groupes étrangers au domaine de l'amélioration génétique qui préconisent la préservation du plasma germinatif pour des raisons philosophiques et éthiques, devrait davantage attirer l'attention sur la question de la préservation des gènes surtout au moment où les méthodes modernes de cryopréservation des gamètes et des zygotes deviennent accessibles et pratiques (Crawford, 1984).

SECTEURS DE L'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE DES ANIMAUX

La figure 1 montre, sous forme de diagramme, les rapports entre le taux de reproduction des femelles des quatre principales espèces d'animaux domestiques et le nombre d'éleveurs ou d'entreprises d'élevage. Dans le cas des bovins, particulièrement des bovins de laiterie, presque tous les producteurs sont également des éleveurs. Par contre, l'amélioration génétique des poulets commerciaux se concentre dans moins de 20 grandes entreprises dans le monde entier. Cette grande différence dans le nombre d'éleveurs est à l'origine d'une organisation totalement distincte au sein des deux secteurs.

Les programmes d'amélioration visant les espèces qui intéressent un grand nombre d'éleveurs sont généralement menés par des organisations nationales ou régionales qui, pour la plupart, sont soumises à plusieurs interventions gouvernementales. Les experts en génétique et en amélioration génétique travaillent surtout au siège de l'organisation. Des critères plus ou moins uniformes d'enregistrement et de sélection sont appliqués dans l'ensemble du territoire visé. Dans

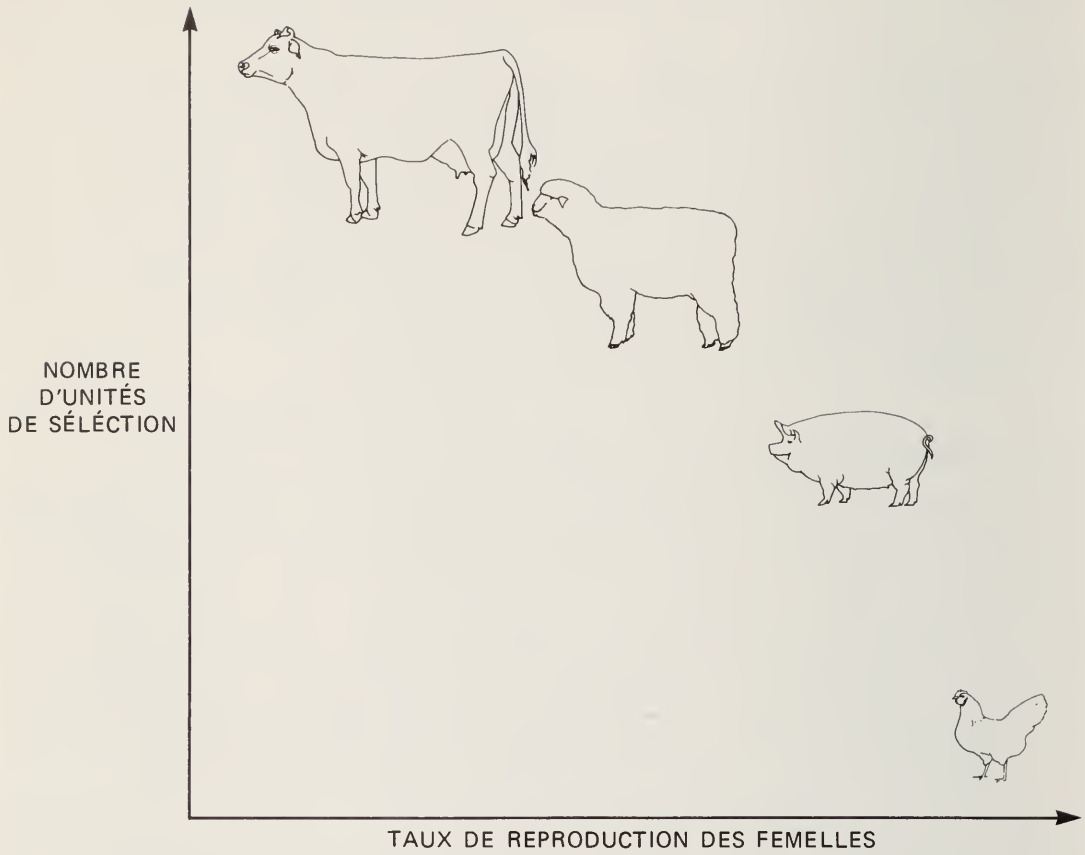

Figure 1 Rapport entre le taux de reproduction des femelles et le nombre d'élevages – bovins, ovins, porcins et poulets

le cas des bovins laitiers, ces organisations exploitent généralement des stations d'insémination artificielle qui emploient des experts de l'amélioration génétique; elles se concentrent sur la sélection de taureaux dont le potentiel d'amélioration génétique est connu et tirent parti de leur taux élevé de reproduction. Grâce à l'insémination artificielle, un même taureau peut féconder plusieurs milliers de vaches.

L'amélioration génétique des volailles, qui ne compte qu'un petit nombre d'éleveurs, se trouve à l'autre extrémité de l'échelle. Chaque sélectionneur possède plusieurs troupeaux primaires de reproduction comprenant chacun des centaines ou des milliers d'individus. Il s'agit le plus souvent d'entreprises privées. Leurs opérations de sélection sont généralement dirigées par des généticiens professionnels qui possèdent une vaste expérience dans le domaine. La plupart de ces entreprises ont pour politique de ne pas divulguer leurs techniques de

sélection. La multiplication des troupeaux primaires de reproduction, qui sont relativement petits, en des centaines de millions de sujets hybrides destinés au commerce soit des poules pondeuses soit des poulets de chair, est assurée, du moins en partie, par un autre type d'éleveurs : les multiplicateurs, les accouveurs et les distributeurs. La séparation entre, d'une part l'amélioration génétique et d'autre part la multiplication, la reproduction et la production constitue un aspect important de ce système. Cette séparation a d'importantes conséquences sur la nature des opérations. Par exemple, le troupeau primaire de reproduction ou sa descendance est parfois exposé délibérément à des agents pathogènes pour que l'on puisse sélectionner les sujets résistant à la maladie. Par contre, les oiseaux utilisés pour la production commerciale reçoivent souvent une protection maximale contre l'exposition aux maladies, pour éviter qu'ils ne transmettent des maladies aux troupeaux commerciaux.

Quand il deviendra possible d'augmenter le taux de reproduction des brebis et des vaches, on pourra s'attendre, comme on le verra plus loin, à des changements dans les secteurs de l'amélioration des ovins et des bovins, secteurs qui s'apparenteront davantage à ce que l'on retrouve aujourd'hui dans le secteur avicole. Bien que les porcins aient un taux de reproduction intermédiaire, ce secteur de l'amélioration génétique commence déjà à ressembler au secteur avicole.

RECHERCHES EN AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE DES ANIMAUX

Les recherches en amélioration génétique des animaux sont effectuées par les universités, les organismes du gouvernement et par des entreprises d'élevage ou des associations d'éleveurs. En général, il s'agit de recherches à long terme, la durée des travaux dépendant du temps qu'il faut pour former une génération de chaque espèce d'animal domestique. On ne réalise aujourd'hui que très peu d'essais de sélection au sein des établissements de recherches, le coût des travaux étant trop élevé. Le nombre d'essais de sélection est particulièrement faible dans le cas des bovins. On a donc largement recours aux données recueillies sur le terrain pour analyser les performances des diverses races bovines, ovines et porcines. Toutefois, certaines entreprises d'élevage de volailles et de porcins qui produisent et commercialisent des reproducteurs, ainsi que certains organismes d'insémination artificielle des bovins poursuivent des recherches internes.

En raison des coûts élevés, on fait en général de moins en moins de recherches dans le domaine de la sélection. Certains administrateurs estiment que cette réduction est justifiée puisque la nouvelle méthodologie de sélection dont on dispose est suffisante et qu'il ne reste plus qu'à l'appliquer. D'autres pensent que les entreprises d'élevage, particulièrement en aviculture, font déjà suffisamment de

recherches en amélioration génétique et qu'il leur appartient d'assumer la responsabilité des recherches futures. En fait, bien que les éleveurs commerciaux poursuivent certaines recherches, il s'agit surtout de recherches à court terme, dont la portée n'est pas suffisante pour assurer des progrès soutenus. Les administrateurs de recherche pourraient bientôt trouver dans les progrès réalisés en biotechnologie une autre justification plausible pour réduire les efforts de recherche sur la sélection. Ils pourraient avancer qu'il n'est plus nécessaire de se livrer à des expérimentations coûteuses de sélection maintenant que de nouveaux et puissants procédés permettent de susciter de profonds changements génétiques en n'utilisant qu'un très petit nombre d'animaux.

PROGRÈS ET PERSPECTIVES, PAR ESPÈCE ET PAR PRODUIT

J.S. Gavora

Les auteurs ont surtout considéré le secteur canadien de l'élevage lors de l'examen des progrès réalisés et des changements survenus en amélioration génétique. Toutefois, dans leur étude des facteurs qui ont contribué à ces progrès, ils ont tenté d'inclure d'importants événements qui se sont produits à l'échelle mondiale. On a si rapidement accès, aujourd'hui, à la gamme complète des nouvelles connaissances qui originent de partout dans le monde, que les grandes découvertes et d'importants faits nouveaux peuvent influencer la production globale. Les auteurs ont donc examiné les perspectives dans le contexte mondial.

La période sur laquelle a porté l'étude, c'est-à-dire les vingt dernières années, n'est qu'approximative, car certaines données, notamment celles sur les progrès génétiques, ne correspondent pas exactement à cette période.

BOVINS LAITIERS

T.R. Batra

Diverses données sur l'industrie laitière du Canada pour 1985 ont été tirées de la publication *Le lait - Aperçu de l'industrie* (1985). Cette année-là, 67 899 exploitations agricoles possédaient au total quelque 1,7 million de vaches laitières (une moyenne de 26 vaches par exploitation). Parmi ces exploitations, 44 629 fermes laitières commerciales ont signalé des ventes brutes annuelles de lait de plus de 5 000 $. Un total de 75 millions d'hectolitres de lait ont été produits en 1984, générant des recettes de 3,4 milliards de dollars. Près de 60 % des vaches laitières sont fécondées par insémination artificielle, et près de 26 % font partie d'un programme fédéral ou provincial de contrôle laitier (472 179). Depuis quelques années, le nombre de vaches et de troupeaux diminue, tandis que l'importance des troupeaux et la production de lait par vache augmentent. Entre 1970 et 1984, la production annuelle de lait par vache au Canada est passée de quelque 3 345 kg à quelque 4 680 kg (ce qui représente une augmentation annuelle de 2,7 %). La production de lait par vache a augmenté considérablement au cours des 15 dernières années dans les troupeaux participant aux programmes de contrôle laitier.

L'augmentation de la production moyenne des vaches canadiennes peut être attribuée en grande partie aux programmes de contrôle de la production, aux programmes d'évaluation des taureaux et des vaches, et au fait que la semence de taureaux d'élite est mise à la disposition

de tous les producteurs de lait. Ainsi, l'amélioration génétique touchant la production laitière du cheptel laitier découle de la synergie des programmes de contrôle laitier, de l'insémination artificielle, de l'évaluation des taureaux et des vaches, et des travaux de recherche (Freeman, 1980). En étudiant une population obtenue par insémination artificielle, Skjervold (1963) et Lindhé (1968) ont montré que 94 % de l'amélioration génétique annuelle est due à la sélection des pères de mâles, des pères de femelles et des mères de mâles, et que près de 70 % des progrès dépendent de la façon dont les taureaux sont accouplés.

Aux États-Unis, l'augmentation annuelle de la production laitière attribuée à l'amélioration génétique des troupeaux de race Holstein obtenus par insémination artificielle a été relativement uniforme (36 kg/an) durant une période de 14 ans (de 1961 à 1974 inclusivement) (Hintz et coll., 1978). Skjervold (1963) signalait qu'en Norvège, où un programme national d'amélioration génétique visant à augmenter la production laitière existait depuis longtemps, la production laitière augmentait de 1,5 % par an. En Israël, l'augmentation de la production laitière attribuée à l'amélioration génétique a été en moyenne de 70 kg/an (1 à 1,5 %) au cours des 23 dernières années.

Caractères liés au rendement

Le tableau 2 résume l'évolution génétique et phénotypique de la production laitière et du rendement en gras du lait du cheptel laitier canadien. Dans le cas de la race Holstein, les améliorations génétique et phénotypique de la production laitière ont été de 40 kg/an et de 73 kg/an respectivement entre 1965 et 1985. Les gains génétiques ont représenté 54 % de l'amélioration totale, ce qui indique que l'amélioration due à la sélection pour la production laitière a été légèrement supérieure à la somme des améliorations dues au milieu et à la conduite. À partir des données du Programme national d'évaluation des taureaux au Canada, Batra (1979) a estimé que l'augmentation de la production laitière attribuable à l'amélioration génétique varie entre 21 kg/an et 55 kg/an pour les quatre races laitières. Selon les études de Schaeffer et coll. (1976) et de Kennedy et Moxley (1975), l'évolution du rendement en gras du lait et du taux protéique suit une courbe semblable à celle de la production laitière (voir tableau 2). Les données de ces auteurs indiquent cependant que le rendement en gras du lait a augmenté plus rapidement que le taux protéique.

Qualité des produits

Les résultats présentés par Kennedy et Moxley (1975) sur le rendement en gras du lait et le taux protéique, par Schaeffer (1980)

Tableau 2 Estimations des tendances génétiques et phénotypiques dans le cheptel laitier canadien

Population	Période	Évolution génétique		Évolution phénotypique	Références
		Lait (kg/an)	Gras (kg/an)	Lait (kg/an)	
Contrôle canadien d'aptitudes et amélioration du cheptel laitier	1965–85				Chesnais et coll. (1986)
Ayrshire		37,4	–	95,4	
Guernsey		31,1	–	59,1	
Holstein		39,7	–	73,4	
Jersey		23,9	–	56,5	
Holstein d'Ontario	1958–72	41,8	1,26	–	Schaeffer et coll. (1976)
Holstein du Québec	1966–72	46,3	1,07	–	Kennedy et Moxley (1975)

sur le taux butyreux et par Hayes et Moxley (1980) sur le taux protéique indiquent une évolution génétique négative de ces deux caractères chez les troupeaux de race Holstein. La diminution annuelle a été relativement faible dans le cas des taux butyreux (0,0041 % en moyenne), mais le taux protéique a diminué plus rapidement (0,0079 % par an).

De grands progrès ont été réalisés en ce qui concerne les aspects sanitaires de la conception, de la fabrication et de l'utilisation du matériel de laiterie intervenant à chaque étape du processus, depuis la traite jusqu'à la consommation. On doit principalement ces progrès à la mise en oeuvre d'un programme de normes sanitaires (Heldman, 1981). On a également amélioré les méthodes de contrôle de la qualité du lait (Marth, 1981), notamment grâce à l'automatisation des essais (Richardson, 1981).

Réduction des coûts

Avant 1956, les génisses vêlaient rarement avant d'avoir largement dépassé l'âge de 24 mois. Les génisses d'une même race semblent atteindre la puberté quand elles arrivent à un certain poids, quel que soit leur âge (Schultz, 1969; Swanson, 1977). Norman et coll. (1974) ont montré que, jusqu'à l'âge de 23 ou 24 mois, chaque mois de retard dans le vêlage fait augmenter la production laitière à la première lactation de 35 à 180 kg chez les Holstein et de 90 kg chez les Jersey, mais qu'après l'âge de 27 mois, la production n'augmente que de 18 kg chez les Holstein et de 9 kg environ chez les Jersey. Au cours des 20 dernières années, on est parvenu à réduire légèrement l'âge du premier vêlage des génisses laitières, en grande partie en améliorant leur alimentation afin qu'elles atteignent plus vite le poids critique. Lin et Allaire (1978) ont étudié les relevés d'amélioration des troupeaux laitiers aux États-Unis et ont montré que l'âge moyen des vaches de race Holstein au premier vêlage était de 30 mois.

L'efficacité avec laquelle la vache convertit en gain pondéral ou en lait les aliments qu'elle consomme constitue un facteur important dans l'établissement de la productivité des bovins laitiers. Freeman (1967) a fait observer que l'efficacité alimentaire est héritable et qu'il existe des liens phénotypiques et génétiques entre cette efficacité et la production laitière. Hooven et coll. (1968) ont attribué un coefficient de 0,46 à l'héritabilité de l'efficacité alimentaire et un coefficient de 0,92 à sa corrélation génétique avec la production laitière, ce qui montre que la sélection pour la production laitière augmenterait le potentiel génétique de conversion.

Le taux de mortalité des veaux de laiterie jusqu'à l'âge de 3 mois était en moyenne de 10 % avant 1960, variant entre 8 et 25 % selon le troupeau (Grunsel, 1956; Oxender et coll., 1973; Martin et coll., 1975). Ce taux de mortalité n'a pas changé au cours des 20 dernières années (Speicher et Hepp, 1973). Les deux principaux problèmes de santé qui affligent les veaux sont la diarrhée et les troubles respiratoires (Roy, 1980).

La brucellose a été presque entièrement éliminée au Canada grâce à des programmes comprenant des contrôles, l'abattage des bovins infectés et la vaccination des veaux. On utilise couramment des vaccins qui augmentent la résistance à la rhinotrachéite infectieuse, à la diarrhée virale des bovins et au para-influenza. La résistance génétique à la mammite et à d'autres maladies n'a pas encore fait l'objet d'études détaillées. L'héritabilité de la prédisposition à la mammite est relativement faible : elle varie entre 0,05 et 0,25 (Young et coll., 1960; Wilton et coll., 1972). Les études effectuées jusqu'à présent sur la corrélation génétique entre la prédisposition à la mammite et la production laitière ne sont pas concluantes. La nature génétique de la résistance des bovins laitiers à d'autres maladies est peu connue.

L'héritabilité de l'intervalle de vêlage, du nombre de jours où l'animal n'est pas en gestation, de la dystocie et d'autres caractéristiques de reproduction communément enregistrées est inférieure à 0,10 (Gill et Allaire, 1976; Miller et coll., 1967). Smith et Legates (1962) ont signalé une corrélation génétique de 0,06 entre la production laitière durant les 90 premiers jours de lactation et le nombre de jours sans gestation. Miller et coll. (1967) et Gill et Allaire (1976) ont également observé une corrélation phénotypique positive entre l'intervalle de vêlage et la production laitière. L'introduction et l'emploi généralisé de l'insémination artificielle dans le secteur des bovins laitiers constituent les facteurs qui ont le plus contribué à l'amélioration du cheptel laitier. On pourra certainement réaliser d'autres progrès grâce au perfectionnement des techniques d'ovulation multiple et de transfert d'embryons.

Perspectives

La recherche, de même que la mise au point et l'utilisation de techniques d'amélioration génétique perfectionnées au cours des vingt dernières années ont donné de bons résultats. Cependant, on n'a pas encore obtenu les taux optimaux d'amélioration des caractères de production. On poursuit, à l'heure actuelle, des recherches visant à mettre au point de nouvelles techniques et méthodes qui permettront d'accélérer l'amélioration génétique des bovins laitiers. Le génie génétique, la détermination du profil biophysique, la manipulation des embryons et les croisements constituent des techniques qui pourraient contribuer à l'amélioration des bovins laitiers dans les années à venir.

Il faudra poursuivre les travaux afin de perfectionner encore davantage les méthodes d'évaluation des taureaux et des vaches. Il faut notamment évaluer un plus grand nombre de caractères des bovins laitiers et utiliser plus de moyens afin de quantifier les réactions corrélées à la sélection en vue de la production laitière et d'améliorer d'autres caractères d'importance économique.

BOVINS DE BOUCHERIE

J. Wilton

En 1985, la production canadienne de viande de boeuf, calculée en poids carcasse, a été d'environ 945 700 tonnes (Agriculture Canada, 1986). Environ 75 % de cette production était attribuable aux bouvillons et aux génisses de consommation et a donc été évaluée à 290 $ les 100 kg (Agriculture Canada, 1983). Le restant (25 %) était surtout attribuable aux vaches de réforme et a donc été évalué à quelque 180 $ les 100 kg. La valeur totale de la production de viande bovine s'est donc élevée à quelque 2 480 millions de dollars.

En 1986, les bovins de boucherie du Canada comprenaient 3,04 millions de vaches, 1,27 million de bouvillons, 0,23 million de taureaux et 1,23 million de génisses (Agriculture Canada, 1986). Les modifications génétiques, même si elles sont minimes à l'échelle de l'animal individuel, peuvent produire des effets importants à l'échelle nationale quand on les applique à l'ensemble du cheptel.

Caractères liés au rendement

La substitution des races, les déterminismes polygéniques et les déterminismes génétiques simples ont permis de modifier les caractères de production.

Substitution des races La substitution a grandement influencé l'évolution de la production de viande bovine au cours des vingt dernières années. Depuis la fin des années 60 et le début des années 70, on a importé d'Europe et multiplié au Canada un grand nombre de bovins de races différentes. En 1985, le nombre de nouveaux animaux enregistrés par les associations d'éleveurs, pour diverses races, montrait la tendance suivante : 15 000 Angus, 43 000 Hereford et 3 000 Shorthorn (races habituelles) contre 20 000 Charolais et 19 000 Simmental (races importées). À l'échelle commerciale, cette évolution a des effets encore plus importants, car les taureaux de ces races importées ont été utilisés dans des programmes de croisement.

Les différences de caractères de production entre les races ont fait l'objet d'études détaillées. Koch et coll. (1976, 1979, 1983) et Rahnefeld et coll. (1983) ont démontré qu'il existe de grands écarts de poids entre les différentes races et les différents croisements. Koch et coll. (1979) ont signalé que les différences de poids de la carcasse entre les croisements Hereford – Angus et les croisements Chianina – Hereford variaient entre 251 et 384 kg pour des animaux ayant des degrés d'adiposité équivalents. Ces différences ont incité les éleveurs à utiliser, dans les programmes de croisement, des taureaux de races produisant des carcasses plus lourdes. L'utilisation de ces taureaux offre de bonnes perspectives d'augmentation du poids moyen des carcasses dans les années à venir. Les recherches ont montré que l'héritabilité du poids de la carcasse et du poids au détail est de 0,58, ce qui est relativement élevé (Koch et coll., 1982).

En fait, on a calculé les changements génétiques qui peuvent découler de niveaux d'héritabilité aussi élevés. Les meilleures estimations disponibles au Canada sont celles établies dans le cadre du Programme canadien d'évaluation des taureaux de boucherie (Agriculture Canada, 1986). Le tableau 3 indique les mérites génétiques moyens des taureaux de plusieurs races entre 1973 et 1985. Le gain pondéral jusqu'à l'âge d'un an est lié de près au poids des animaux d'un an et, par conséquent, au poids de la carcasse et au poids de détail. On a démontré une tendance positive nette dans le cas

Tableau 3 Évolution de la valeur moyenne d'élevage estimative de la descendance des taureaux évalués dans le cadre du Programme canadien d'évaluation des taureaux de boucherie[1]

Année	Angus	Charolais	Hereford	Simmental
	Gain pondéral entre la naissance et l'âge d'un an (en kg)			
1973	0	0	0	0
1977	5,3	0,3	2,3	2,5
1981	10,5	3,0	9,9	5,0
1985	19,0	5,4	17,2	10,6
	Facilité de vêlage (en points)[2]			
1973	0	0	0	0
1977	0	1,5	0,1	0
1981	–0,1	1,3	0,1	0,4
1985	–0,4	1,2	–0,8	0,3

[1] Source : Agriculture Canada (1986)

[2] La facilité de vêlage est notée de la façon suivante : 0 point pour le vêlage nécessitant une chirurgie, 50 points pour le vêlage assisté et 100 points pour le vêlage sans aide.

des races Angus et Hereford. Les taureaux Angus évalué en 1985 produiront des veaux qui, à l'âge d'un an, pèseront 19 kg de plus que les veaux de taureaux évalués en 1973. Cette tendance n'est pas aussi marquée dans le cas des races Charolais et Simmental pour lesquelles on s'est plutôt attaché à améliorer la facilité de vêlage.

Déterminismes polygéniques Dans les croisements visant à modifier le poids de l'animal, on n'a pas jugé que les effets associés à l'hétérosis étaient aussi importants que les différences entre les races. Ils ont toutefois une certaine importance, comme l'indiquent des études qui ont estimé à 10 et 6 % respectivement l'effet d'hétérosis direct et maternel sur le poids de la carcasse (Koch et coll., 1983).

Déterminismes génétiques simples Jusqu'à présent, on a identifié peu de gènes qui, à eux seuls, influencent le poids de l'animal. Les principaux gènes étudiés ont été ceux qui déterminent le nanisme. On a relevé deux problèmes : le cas du veau «snorter», hérité sous forme d'un gène unique récessif, et le cas du veau «comprest». Ces troubles se caractérisent par le nanisme, ainsi que par une variété d'autres caractéristiques (Warwick et Legates, 1979)

Qualité des produits

Le facteur le plus important qui détermine la qualité des produits est la composition de la carcasse. Les poids relatifs de gras, de maigre et d'os qui composent le poids total de la carcasse influencent de façon importante sa valeur économique. Au Canada, les carcasses sont classées en catégories fondées surtout sur l'âge. La plupart des carcasses sont classées dans la catégorie A, qui est subdivisée en catégories A1 à A4 en fonction de la proportion de gras. Les carcasses A1 ont moins de gras que celles des autres catégories (voir tableau 4) (Fredeen et coll., 1981). Comme le montrent les rapports d'Agriculture Canada, le pourcentage de la viande vendue dans chacune de ces catégories a beaucoup évolué entre 1972 et 1981. En conséquence, la proportion de gras dans les carcasses vendues est passée de 22 à 20 % (voir tableau 5). Vu l'augmentation parallèle du poids des carcasses, il s'agit là d'une diminution importante.

Il reste encore à établir dans quelle mesure ces tendances phénotypiques sont attribuables à des effets génétiques ou au milieu. Il est probable qu'elles découlent en partie de différences génétiques, étant donné la quantité de races différentes que l'on a utilisées dans les programmes de croisement. En effet, Koch et coll. (1976, 1979) et Berg et coll. (1978) ont démontré que différentes races de géniteurs donnent des pourcentages de gras très différents pour un poids de carcasse donné.

Tout comme le recours à différentes races, la sélection des animaux à l'intérieur d'une même race en vue de changer le poids de l'animal à l'âge d'un an entraîne des changements corrélatifs dans la proportion de gras pour un poids de carcasse donné (Koch, 1978; Koch

Tableau 4 Évolution des catégories du boeuf vendu dans la catégorie A[1]

		Boeuf vendu	
Catégorie	Gras[2] (%)	1972 (%)	1981 (%)
A1	19,0	33,5	56,8
A2	22,4	42,0	35,1
A3	25,6	18,0	6,7
A4	28,3	6,5	1,4

[1] Source : Revue du marché du bétail. Agriculture Canada (1972, 1981)

[2] Source : Fredeen et coll. (1981)

Tableau 5 Évolution des caractéristiques des carcasses de boeuf, 1972–1981[1]

Caractéristique	1972	1981
Poids carcasse (kg)	260	271
Gras chimique (%)	22,2	20,8

[1] Selon les sources citées au tableau 4.

et coll., 1982). Koch et coll. (1982) ont trouvé que le pourcentage de gras dans le produit de détail pour un âge donné a un coefficient d'héritabilité de 0,63. La sélection pour la réduction de la quantité de gras sous-cutané, caractère mesuré dans de nombreux programmes d'épreuves des taureaux de boucherie, aurait semble-t-il l'avantage de réduire la proportion de gras et d'augmenter le pourcentage de poids de détail pour un poids ou un âge donné.

Le rapport entre le poids des muscles et celui des os varie, lui aussi, d'une race à une autre (Berg et Butterfield, 1976; Berg et Walters, 1983). Ce rapport peut également être influencé par le gène qui confère le caractère culard (Warwick et Legates, 1979). Ce caractère est hérité sous forme d'un gène unique récessif, mais son expression est modifiée par un grand nombre d'autres gènes qui influencent le développement musculaire. Les animaux culards ont un plus grand nombre de fibres musculaires dans chaque muscle et le rapport entre les poids des muscles et des os est plus élevé que chez les animaux normaux. Jusqu'à présent, les efforts de sélection ont généralement visé à réduire les cas d'animaux culards, en raison des difficultés de vêlage associées à ce caractère. Si l'on réussissait à éliminer ces problèmes de reproduction, il serait fort intéressant d'augmenter la fréquence du gène donnant le caractère culard.

La répartition du maigre, du gras et des os dans les diverses parties de la carcasse constitue le deuxième facteur en importance déterminant la qualité du produit. Berg et Walters (1983) ont étudié de façon détaillée la formation de gras, de maigre et d'os, ainsi que les facteurs qui en déterminent la répartition. Il semble que les différences génétiques dans la répartition musculaire soient faibles entre les races, tandis que les différences dans la répartition du gras paraissent plus importantes. On a démontré que le rapport entre le gras sous-cutané et le gras intermusculaire varie d'une race à l'autre. L'importance de la différence varie en fonction du stade de maturité des animaux faisant l'objet des comparaisons. L'emploi de races qui engraissent à un âge plus avancé, comme la Charolaise, dans les programmes de croisement, peut avoir modifié la répartition du gras, mais ces modifications n'ont pas encore été documentées.

On n'a pas encore examiné l'héritabilité de la répartition du gras et des os au sein d'une même race. Koch et coll. (1982) ont constaté que l'héritabilité du pourcentage de gras de rognon (indice du gras interne) était élevée pour un âge donné, mais ce caractère peut être dû à une tendance à engraisser ou à former le gras à un endroit plutôt qu'à un autre.

Le troisième facteur qui détermine la qualité du produit est la sapidité. Les mesures de tendreté et de saveur fournissent des indices importants. Koch et coll. (1979) ont conclu que la sapidité de la viande, mesurée par un groupe de dégustateurs, variait peu entre les races pour des animaux d'un même âge. Ils ont par ailleurs trouvé que la tendreté, mesurée à l'aide d'épreuves de cisaillement, ne variait que légèrement.

Koch et coll. (1982) ont trouvé que l'héritabilité de la tendreté était moyenne, soit de 0,31. La sélection pourrait permettre d'améliorer cette situation dans les années à venir, mais, jusqu'à présent, les modifications génétiques semblent avoir été négligeables.

Réduction des coûts

Le taux de reproduction constitue un des facteurs les plus importants dans la réduction des coûts de production. Le secteur bovin a de plus en plus eu recours aux programmes de croisement, mais on ne dispose pas de données précises sur l'ampleur de ces programmes. L'augmentation, grâce à l'hétérosis, du nombre de veaux sevrés par vache mise à la reproduction a été bien documentée (Warwick et Legates, 1979). Cette augmentation résulte à la fois du croisement de la vache et de celui du veau. L'influence des différences entre les taux de reproduction des races en question semble faible. Lawson et coll. (1980), par exemple, ont trouvé que le taux de conception ou le nombre d'inséminations par génisse pleine ne variait pas en fonction de la nature des croisements. On estime que la sélection pour le taux de conception ne constitue pas une méthode efficace d'amélioration, étant donné la faible héritabilité de ce caractère. La sélection pour la facilité de vêlage qui, comme l'ont montré Laster et Gregory (1973), est liée au taux de survie des veaux et a une importance économique par elle-même, devrait constituer une meilleure méthode d'amélioration du taux de reproduction parce que l'héritabilité de la facilité de vêlage est moyenne (Tong et coll., 1976). On a en effet constaté des tendances génétiques (voir tableau 3) chez les Charolais, dont les éleveurs ont cherché à développer ce caractère en utilisant des taureaux évalués d'après leur descendance. On a aussi augmenté, à l'aide des déterminismes génétiques simples, le nombre de veaux nés vivants et survivant jusqu'au sevrage en réduisant l'incidence de veaux bouledogues et de veaux atteints du syndrome d'arthrogrypose et de palatoschisis.

L'efficacité alimentaire constitue un autre facteur jouant un rôle important dans les coûts de production. L'augmentation du nombre d'éleveurs qui ont recours à des programmes de croisement a donné de bons résultats dans ce domaine également, bien que la portée des changements ne soit pas encore documentée. Dans ce cas, les modifications de l'efficacité de la production ne sont pas dues à l'hétérosis, car les estimations d'hétérosis sont généralement faibles pour cette caractéristique (Warwick et Legates, 1979). Il est plus probable que l'amélioration de l'efficacité découle de l'emploi de lignées spécialisées de taureaux et de génisses, comme l'ont montré les travaux de modélisation de Wilton et Morris (1976). Ainsi que l'ont indiqué Fredeen et coll. (1982*a*,*b*), l'appariement judicieux du génotype et du milieu constitue un aspect important de l'utilisation des croisements.

Selon les estimations que Preston et Willis (1974) ont révisées, la sélection pour l'indice de conversion devrait s'avérer efficace. Toutefois, les programmes actuels de contrôle des performances des bovins de boucherie mesurent rarement la consommation. La plupart des changements qui se sont produits jusqu'à présent seraient le fait de la corrélation génétique entre la conversion des aliments et le gain pondéral qui, selon Preston et Willis (1974), varierait entre –0,3 et –0,8. Les méthodes récentes de mesure électronique de la consommation devraient permettre une sélection directe pour l'efficacité de conversion des aliments.

Perspectives

Les performances des bovins de boucherie continuent de s'améliorer en raison de la sélection de caractères qui augmentent le rendement en viande bovine, améliorent la qualité des produits et entraînent une réduction des coûts. L'emploi du micro-ordinateur dans l'exploitation agricole permettrait d'enregistrer les performances d'un plus grand nombre d'animaux. L'un des problèmes qui se posera à l'avenir consistera à intégrer aux banques de données centralisées les données provenant des micro-ordinateurs de chaque exploitation. On pourra obtenir de ces banques centralisées des estimations de la valeur d'élevage des animaux pour une diversité de caractères. Il serait également possible d'évaluer un plus grand nombre de caractères. On pourrait, par exemple, évaluer les taureaux en fonction des aptitudes maternelles de leurs filles. Les nouveaux instruments électroniques destinés à mesurer la consommation d'aliments permettront peut-être de sélectionner directement les animaux en fonction de ce caractère, au lieu d'utiliser la méthode actuelle, qui se fonde sur les corrélations avec la sélection en fonction de la croissance. De plus, les nouveaux instruments de mesure du gras sous-cutané des animaux permettront peut-être d'augmenter la sélection de la composition du gain pondéral.

Il est probable que les programmes de croisement continueront à se perfectionner. Les principaux efforts consisteront à apparier certaines races et combinaisons de races avec des programmes de conduite particuliers. La mise en oeuvre des nouvelles techniques de transfert d'embryons permettant d'obtenir des embryons qui offrent certains caractères commerciaux entraînerait une plus grande utilisation d'embryons de taureaux et de lignées de génisses spécialisés. Il serait possible d'exploiter encore plus cette spécialisation en favorisant la conception gémellaire à l'aide d'embryons spécialisés, ce qui permettrait par ailleurs de modifier le faible taux de reproduction des bovins de boucherie (Reid et coll., 1986).

L'utilisation des déterminismes génétiques simples permettra, à long terme, de réaliser des progrès. Il est possible de modifier des caractères comme le taux d'ovulation, le taux de production de l'hormones de croissance et l'hypertrophie musculaire. Il faudrait poursuivre les recherches sur l'interaction entre ces modifications et d'autres caractéristiques. Il faudra aussi étudier de plus près les mécanismes de régulation et l'emplacement des gènes sur les chromosomes avant de tenter des manipulations génétiques particulières.

OVINS

J.N.B. Shrestha

Depuis l'importation des premiers moutons de France vers 1650, le secteur canadien de l'élevage des ovins a joué un rôle important comme fournisseur de viande et de laine, et ce jusqu'aux années 50 (Slen, 1954). La baisse du cours mondial de la laine après la Deuxième Guerre mondiale a transformé le secteur du mouton, non seulement au Canada, mais aussi dans tous les plus gros pays producteurs de laine. Au Canada, la population ovine est passée d'un chiffre record de 3,6 millions de têtes en 1931 à 0,6 million de têtes, soit son plus bas, en 1977, ce qui représente une diminution de 85 %. Entre 1977 et 1985, la population s'est accrue de 34 %. La baisse de la production canadienne de viande d'agneau et de mouton, qui est passée de 32 311 tonnes en 1946 à 8 560 tonnes en 1985, s'est accompagnée d'une augmentation parallèle des importations, qui sont passées de 4,5 tonnes en 1948 à 11 737 tonnes en 1985, ce qui représente 60 % des besoins nationaux. La consommation nationale d'agneau et de mouton a diminué graduellement, pour passer de 3,4 kg par personne en 1923 à 0,8 kg par personne en 1985. Depuis quelques années, la laine et la viande d'agneau et de mouton n'ont pas constitué une source importante de revenus pour les agriculteurs canadiens; le total des recettes provenant de la vente d'agneau et de mouton représente actuellement moins de 0,5 % des recettes provenant de la consommation totale de viande rouge, et l'importance de l'agneau et

du mouton par rapport aux autres types de viande continue de baisser. En 1985, les secteurs de la laine, de l'agneau et du mouton représentaient une valeur totale de 82 millions de dollars, ce qui correspondait à 1 % des produits du bétail au Canada.

L'évolution des conditions économiques et sociales vient compliquer l'amélioration génétique des ovins, domaine qui se caractérise par d'importantes différences entre les éleveurs sur le plan de l'alimentation, du climat, de la stabulation et des races. Par ailleurs, la valeur économique relative des produits, c'est-à-dire de la viande, de la laine, du lait et de la peau, a évolué au fil des ans. Au cours des 35 dernières années, la viande s'est substituée à la laine comme principal produit de l'élevage ovin au Canada. Au moment où le cours de la laine a chuté à son plus bas niveau, les éleveurs se sont retrouvés dans une situation où la tonte coûtait plus cher que ce que la laine rapportait.

Depuis vingt ans, l'amélioration génétique des ovins a réalisé des progrès rapides, les éleveurs ayant eu recours aux connaissances scientifiques accessibles pour mettre au point des méthodes efficaces d'amélioration génétique qui visent à améliorer les caractères d'intérêt économique.

Des programmes d'amélioration génétique reposant sur divers systèmes d'enregistrement et de contrôle des performances ont été mis en oeuvre dans plusieurs pays (Owen, 1971; Clarke et Rae, 1977; Thomes et coll., 1979; Croston et coll., 1980; Shrestha et coll., 1982). Au Canada, on a récemment mis au point une nouvelle technologie offrant un système de production d'agneaux fortement automatisé, accéléré et programmé. L'utilisation de cette technologie permet de doubler ou de tripler la production d'agneaux par brebis à l'aide d'une conduite d'élevage intensive, sans provoquer d'effets défavorables apparents sur la santé ou les performances des ovins (Heaney et coll., 1980; Ainsworth et coll., 1986).

Caractères liés au rendement

Selon les estimations, la plupart des paramètres génétiques des ovins ont une héritabilité suffisamment élevée pour réagir à la sélection (Terrill, 1962; Turner et Young, 1969; Rae, 1982; Shrestha et Heaney, 1985; Shrestha et coll., 1985, 1986*b*). L'estimation des paramètres génétiques et phénotypiques de caractères d'intérêt économique, après correction en ce qui regarde l'influence du milieu, a permis d'établir et d'appliquer des indices de sélection (Clarke et Rae, 1977; Ponzoni, 1979). Les essais de sélection ont montré que la sélection artificielle pour un ou plusieurs caractères produit une amélioration génétique.

La sélection du poids de la toison nettoyée a permis d'augmenter, au bout de huit générations, la production de laine d'environ 20 % (0,9 % par année) à la station de recherches agricoles de Trangie en Australie (McGuirk et Atkins, 1979). Bien que de fortes fluctuations

annuelles des performances relatives aient rendu l'évaluation difficile, McGuirk et Atkins ont conclu que la réponse génétique était plus lente au cours des dernières années qu'au cours des premières. Les changements corrélés étaient semblables à celles que l'on avait prédites. Le poids de la toison en suint d'un mouton adulte a augmenté de 7,7 % (0,16 kg par tête) du fait de l'augmentation de 10 % du poids de la toison lavée. Par ailleurs, les changements corrélés à la sélection ont fait baisser de 32 % la fréquence de la frisure (3,31 contre 4,33 frisures par centimètre) et augmenter de 7 % le diamètre moyen des fibres (21,2 contre 19,9 microns). Une autre étude a montré que l'augmentation du poids de la toison lavée s'accompagnait d'un plus grand risque de pourriture, de désagrégation et de pénétration par la poussière (Barlow, 1974).

Lax et coll. (1979) ont comparé la sélection d'un seul caractère à la sélection d'un indice de deux caractères dans la race Hampshire. Les caractères en question était le poids à 90 jours et l'état d'engraissement, mesuré par l'épaisseur du gras dorsal à la septième côte. Sur une période de cinq ans, la sélection pour le poids a permis d'augmenter de 0,62 kg/an le poids à 90 jours; chez les animaux sélectionnés pour le gras dorsal, la sélection a permis de réduire de 0,04 cm du gras dorsal à la septième côte et l'indice, qui mesure la valeur combinée des deux caractères, a augmenté de 0,05 unité. La sélection de l'état d'engraissement a permis de réduire le gras dorsal de 0,03 cm/an sans provoquer de modification sensible du poids, et l'indice a augmenté de 0,07 unité. L'utilisation d'un indice de sélection a permis d'augmenter de 0,33 kg/an le poids à 90 jours, de réduire de 0,02 cm/an le gras dorsal et d'augmenter l'indice de 0,1 unité par an.

Les croisements, en tirant profit des différences entre les races, ont joué un rôle prépondérant dans l'amélioration génétique des ovins. Au Canada, Vesely et Peters (1979, 1981) ont étudié les croisements de façon détaillée. Ils ont comparé la production d'agneaux d'ovins de race pure à celle d'ovins issus de croisements entre deux, trois et quatre races. Ces études ont montré que les ovins issus de croisements étaient supérieurs aux ovins de race pure sur le plan de la croissance, de la survie et de la reproduction.

On a noté que l'hétérosis, la race et les aptitudes générales et spécifiques ont des effets importants sur la productivité des brebis (Shrestha et coll., 1983). Il faudrait donc tenir compte à la fois des effets additifs et des effets non additifs dans la formulation de stratégies d'amélioration génétique qui visent à maximiser la productivité de l'élevage commercial des agneaux.

Qualité des produits

En Norvège, un programme efficace d'amélioration génétique des ovins utilise un indice de sélection basé sur le poids de la carcasse, la qualité de la carcasse et le poids de la toison des béliers. On estime

que ce programme s'est traduit par une amélioration génétique globale de 1 à 1,3 % par année (Eikje, 1975). Par ailleurs, le poids au sevrage a enregistré un gain génétique de 0,25 kg/an environ. On a estimé les gains génétiques en poids carcasse, en poids du quartier arrière et en superficie de la noix de côte respectivement à 0,24 kg, 0,09 kg et 0,22 cm^2. Les pertes génétiques annuelles causées par les changements corrélés à la sélection se sont chiffrées à 0,03 unité pour la catégorie de la carcasse, à 0,01 kg pour le poids des rognons et du gras de rognon et à 0,02 kg pour le poids de la toison.

La plupart des paramètres génétiques qui ont été publiés sur les caractères des carcasses d'agneau ne sont que des estimations préliminaires, en raison des petits échantillonnages utilisés. Wolf (1982) a récemment estimé que l'héritabilité de la proportion de tissus maigres variait entre 0,07 et 0,65, ce qui laisse croire que la sélection permettrait peut-être de modifier la répartition de la viande maigre. Toutefois, là où les estimations de l'héritabilité étaient les plus élevées, les coefficients de variation étaient faibles, ce qui réduit les perspectives de progrès rapides. Wolf (1982) a également estimé qu'il existait une corrélation génétique positive de 0,17 entre le gain pondéral quotidien moyen à partir de la naissance jusqu'à l'abattage et la proportion de maigre dans les morceaux les plus prisés. Shrestha et coll. (1986*a*) ont fourni des coefficients d'héritabilité variant de 0,38 à 0,67 pour l'épaule et le gigot (paré et maigre), le total des morceaux parés de consommation, le total de viande maigre, le poids de la carcasse froide et le gain pondéral en maigre par jour. Les estimations basées sur la longe, le carré, l'avant, l'arrière, le total des morceaux de consommation, le poids du gras de rognon, le pourcentage de déchets et le gain pondéral de la carcasse froide par jour ont montré une relation faible ou insignifiante avec le total des morceaux parés de consommation ou le maigre total. La sélection pour une meilleure répartition du maigre dans n'importe lequel des morceaux recherchés et fortement héritables pourrait produire une réaction corrélée dans la répartition globale de viande maigre. La mise au point de méthodes précises pour mesurer la qualité de la carcasse des animaux sur pied (Bass et coll., 1982) permettrait de réduire le coût de la sélection pour la proportion en maigre. Bradford (1967) a insisté sur la valeur pratique de la mise au point de telles méthodes. Il a fait valoir que le secteur est bien plus susceptible de prendre et d'utiliser des mesures de la qualité de la carcasse des animaux sur pied que d'utiliser un programme de contrôle de la descendance, aussi efficace soit-il, pour la qualité de la carcasse. Les modes actuels de production d'agneaux de consommation, où l'on utilise les béliers de certaines races à viande comme géniteurs pour les croisements, permettent d'améliorer la qualité de la carcasse. Pour réaliser une amélioration, on pourrait concentrer les efforts de sélection de la qualité sur des races de géniteurs qui ne constituent qu'une faible proportion de l'ensemble du cheptel.

Réduction des coûts

Les caractères déterminants dans la réduction des coûts de la production ovine sont le taux de croissance, le rendement en muscle maigre, l'âge à la maturité sexuelle, les performances de reproduction, l'efficacité alimentaire et la viabilité. Bien que l'on dispose de certains renseignements sur le taux de croissance, l'âge à la maturité sexuelle et les performances de reproduction, les données sur le rendement en muscle maigre, sur la conversion et sur la viabilité sont limitées.

Dans le cas des agnelles, il faut faire une distinction entre la puberté et la maturité sexuelle, car les brebis n'atteignent leurs pleines capacités de reproduction que lorsqu'elles deviennent adultes. Les recherches bibliographiques n'ont révélé aucune étude des modifications génétiques entraînées par la sélection pour la puberté et la maturité sexuelle précoces chez les ovins. Bien que la fécondité soit moins élevée chez les jeunes sujets que chez les sujets matures, la mise à la reproduction des agnelles de 6 mois permettrait de raccourcir l'intervalle entre les générations et d'évaluer les descendants à un plus jeune âge.

Dans le cas de certaines races, on semble obtenir une sélection pour une maturité sexuelle précoce et pour une plus grande fécondité en conservant les agneaux de brebis qui se reproduisent plus jeunes (Mair, 1963). Les femelles de races très profiliques, comme la Finnoise (Maijala et Osterberg, 1977) et la Romanov (Ricordeau et coll., 1978), ont leur premier oestrus à un âge relativement précoce. Certaines données laissent croire qu'une mise à la reproduction précoce peut donner lieu à une plus grande fécondité ultérieure et à une plus grande prolificité sur la durée de vie de la brebis (Baker et coll., 1978). On a récemment étudié les taux plasmatiques des hormones et la croissance testiculaire chez les béliers, en vue d'établir une corrélation entre ces caractères et l'âge de puberté et le taux d'ovulation des soeurs ou des descendantes (Land, 1973; Bindon et Piper, 1979). Ces caractères pourraient alors servir de critères supplémentaires de sélection pour les performances de reproduction.

On n'a en général constaté aucun changement corrélatif du taux de reproduction des Mérinos australiens sélectionnés en fonction du poids de la toison (Turner, 1977). Cependant, McGuirk et Atkins (1979) ont trouvé que la sélection du poids de la toison entraînait une réduction du nombre d'agneaux nés par brebis et une augmentation du nombre de brebis taries. Ces auteurs ont également signalé que l'incidence de brebis taries était héritable. Dans le cas de la race Romney de Nouvelle-Zélande, la sélection visant à obtenir un taux élevé de jumeaux a fait baisser légèrement la production de laine (Clarke, 1972). La croissance testiculaire peut servir de critère pour l'amélioration génétique des taux de reproduction des deux sexes (Land, 1973, 1977*b*), parce que les mêmes hormones gonadotropes interviennent, chez les deux sexes, dans la régulation physiologique de la reproduction. Les données fournies semblent indiquer qu'il existe un lien génétique entre la croissance testiculaire des béliers et

l'activité ovarienne des brebis (Land, 1973; Land et Carr, 1975; Land et Lee, 1976). Malgré des données antérieures tendant à démontrer que l'amélioration génétique du taux de reproduction est lente (Turner, 1969), on a estimé que les mensurations testiculaires sont fortement héritables chez les ovins. (Hanrahan et Quirke, 1977; Thorsteinsson et coll., 1982).

La sélection visant à augmenter le poids de la toison n'a eu aucun effet sur le poids corporel, et des études sur l'alimentation ont montré que l'augmentation du poids de la toison ne découlait pas d'une plus forte consommation d'aliments (Williams et Winston, 1965).

Bien que l'importation et l'évaluation de races exotiques coûtent généralement cher, les avantages potentiels justifient souvent cet investissement. Dans une étude du croisement de la Finnoise avec d'autres races, Dickerson (1977) a conclu que l'accouplement, avec des béliers de races à viande, de brebis commerciales issues de croisements entre la Finnoise et d'autres races comme la Dorset, la Suffolk, la Targhee ou la Rambouillet, permettait de réduire de 20 à 25 % le coût des brebis par kilogramme d'agneau de consommation. Les brebis issues de croisements comptant 25 % de Finnoise (au lieu de 50 %) produisent, par 100 brebis, une vingtaine d'agneaux nés vivants de plus que les brebis issues de croisements de races indigènes. Sur des pâturages pauvres et dans des conditions climatiques difficiles au moment de l'agnelage, les brebis à 25 % finnoises peuvent produire presque autant d'agneaux que les brebis à 50 % finnoises, tout en ayant une vie productive plus longue.

La forte prolificité du Mérinos Booroola est liée à un gène qui influence le taux d'ovulation (Piper et Bindon, 1982). Grâce à la séparation génétique du gène qui détermine la fécondité, il se peut qu'on puisse augmenter la productivité des brebis en utilisant des proportions prédéterminées de Mérinos Booroola dans les croisements avec les races indigènes. La race Texel de Hollande offre une excellente qualité de viande (Wolf et coll., 1980) et semble avoir le potentiel de produire des carcasses lourdes et maigres quand on utilise des béliers de cette race pour la production d'agneaux de consommation. Il serait peut-être avantageux d'importer cette race au Canada.

Perspectives

On pourrait augmenter la rentabilité globale de la production d'agneaux de consommation dans les années à venir en transmettant à de nouvelles races du matériel génétique provenant de races indigènes et exotiques, ou en utilisant de nouveaux systèmes de croisement. L'amélioration des races établies par l'introduction de races exotiques qui se sont montrées supérieures sur le plan de certains caractères importants de reproduction pourrait mener à des gains génétiques rapides.

Le Programme canadien d'évaluation génétique des ovins (Shrestha et coll., 1982), lancé en 1976, visait à offrir aux éleveurs une méthode simple pour mesurer et enregistrer les performances des animaux sur place, données devant servir à l'amélioration génétique de leurs reproducteurs. Le nombre d'éleveurs participant à ce programme a beaucoup augmenté au cours des six premières années. Le programme présente la possibilité de stimuler l'amélioration génétique du cheptel national.

Il est probable que les éleveurs canadiens continueront d'utiliser les méthodes traditionnelles de production d'agneaux sur les terres agricoles marginales et sous-marginales. Par contre, plus près des centres de population, on continuera à élaborer des systèmes de production intensifs, basés sur l'élevage en claustration. La production intensive en milieu contrôlé (Ainsworth et coll., 1986) serait facilitée s'il était possible de porter la fréquence d'agnelage de trois en deux ans à deux par an sans avoir à investir davantage dans les bâtiments ou le matériel. Jusqu'à présent, une telle augmentation s'est avérée impossible. En plus de produire de plus grandes portées et d'assurer de meilleurs taux de survie, la production intensive pourrait donner jusqu'à cinq agneaux par gestation, avec un intervalle moyen de 6 mois entre les agnelages. Cette augmentation potentielle de la productivité incitera les éleveurs à mettre en oeuvre une nouvelle technologie qui pourrait permettre une production intensive en claustration. On pourrait réaliser certains progrès encore plus rapidement, grâce à l'utilisation de méthodes du génie génétique, dont il sera question plus avant.

Il serait donc possible d'accélérer l'amélioration génétique en augmentant la précision de l'évaluation du potentiel génétique des reproducteurs, en vue de la sélection et de la synthèse de nouvelles races réunissant des caractères d'intérêt économique, afin de répondre aux besoins à venir.

PORCINS

M.H. Fahmy

En 1984, 1,7 milliard de dollars (9,1 % environ du total des recettes agricoles) était attribuable au secteur canadien des porcins, qui comptait près de 11 millions de porcins répartis dans quelque 56 000 exploitations agricoles. Dans le cas de certaines provinces, comme le Québec, cette contribution a atteint 20 %. Cette même année, le Canada a exporté quelque 173 000 tonnes de porc, ce qui représente 20 % environ de sa production porcine, contre seulement 5 % en 1969.

Le nombre annuel de porcins abattus dans des établissements commerciaux a presque doublé au cours des vingt dernières années, passant de 7,8 millions à 14,6 millions d'animaux. La popularité de plus en plus grande de l'élevage porcin au Canada peut être attribuée en partie à une augmentation de sa rentabilité grâce à un meilleur rendement et à une baisse des coûts de production.

Les travaux canadiens et étrangers de recherche en génétique quantitative ont entraîné une meilleure application des théories génétiques à l'élevage porcin. Des progrès récents, comme l'utilisation de gènes marqueurs et de profils hormonaux dans le cadre de la sélection pour des caractères d'importance économique, ainsi que la mise en oeuvre de nouvelles techniques, comme l'emploi d'appareils à ultrasons pour évaluer la qualité des carcasses et la laparoscopie pour déterminer le taux d'ovulation, ont également contribué à améliorer la production porcine.

Caractères liés au rendement

Les principaux caractères liés au rendement sont la fécondité, la prolificité et le taux de croissance des porcelets avant et après le sevrage.

Le rendement se mesure souvent en kilogrammes de porc paré vendu pour un poids vif de 95 kg. Le Québec a été l'une des premières provinces au Canada à lancer un programme d'évaluation en porcherie pour les truies. Le tableau 6 présente les résultats obtenus après 6 ans d'application de ce programme. Ces résultats montrent que la productivité des truies pour tous les caractères liés à la reproduction s'est améliorée de façon continue. Il reste encore à déterminer quelle proportion de cette amélioration peut être attribuée à des modifications génétiques.

Des études expérimentales visant à améliorer le taux d'ovulation et la taille de la portée grâce à la sélection ont montré que, bien que le taux d'ovulation réagisse à la sélection directe (Cunningham et coll., 1979) et indirecte (Ollivier et Bolet, 1981), la taille de la portée n'est marquée par aucune augmentation correspondante. On a établi une héritabilité de 0,4 environ pour le taux d'ovulation, ce qui est moyen (Cunningham et coll., 1979). Par contre, la composante génétique de la taille de la portée est généralement faible, ne se chiffrant qu'entre 5 et 10 % (Strange et Smith, 1979), probablement en raison d'effets maternels négatifs (Revelle et Robinson, 1973). La sélection directe en vue d'obtenir une plus grande portée ne s'est donc pas avérée efficace. Une solution possible consisterait à sélectionner en fonction d'un taux d'ovulation élevé et à mettre au point des méthodes et des techniques qui permettraient de réduire la mortalité prénatale et post-natale.

Tableau 6 Évolution des performances des truies des porcheries québécoises, 1980–1986

Caractères	Performances						
	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Intervalle sevrage–conception (jours)	28,1	23,3	17,1	12,7	12,1	11,3	10,8
Nombre de porcelets nés vivants par portée	9,5	9,6	9,7	9,8	9,8	9,9	10,0
Nombre de porcelets sevrés par portée	7,7	8,0	8,2	8,3	8,3	8,4	8,4
Nombre de portées par truie par an	–	1,4	1,6	1,8	1,8	1,9	1,9
Productivité par truie par an (porcelets)	10,8	11,5	13,4	14,8	15,2	16,0	15,9

Source : Anonyme (1986).

Legault et Gruand (1976) ont fait valoir qu'il serait possible, à partir des nombreuses données accumulées grâce aux programmes nationaux d'enregistrement, d'identifier et de choisir un petit nombre de truies ayant des performances reproductives extrêmement élevées. On pourrait alors concentrer les gènes de ces truies très prolifiques en utilisant leurs fils pour la saillie d'autres truies fortement prolifiques. Deux études réalisées en France (Legault et coll., 1981) et en Grande-Bretagne (Bichard et Seidel, 1982) ont fait l'essai de cette méthode. Les résultats préliminaires des travaux français ont montré que, bien que le taux d'ovulation des truies à forte prolificité ait été plus élevé que celui des lignées témoins, le nombre d'embryons viables au trentième jour de la gestation était semblable dans les deux cas, en raison d'une plus grande perte d'embryons dans la lignée sélectionnée.

Dufour et Fahmy (1975) ont montré que les embryons croisés avaient une meilleure espérance de survie que les embryons de race pure. Le croisement constitue donc un moyen efficace pour augmenter la taille de la portée. Dans sa récapitulation des études nord-américaines sur les croisements publiées depuis 1970, Johnson (1981) a montré que les croisements étaient le facteur qui influençait le plus la survie des porcelets après la mise bas. Les études sur les croisements ont également montré que la taille et le poids des portées de truies issues de croisements étaient supérieurs à ceux des truies de

race pure (voir tableau 7). Johnson (1981) a constaté que les porcelets sevrés issus de truies croisées pesaient, à deux jours, 6,4 kg de plus que ceux de truies de race pure. Ces résultats ont confirmé ceux de Sellier (1976), qui a trouvé que les porcelets sevrés issus de truies croisées pesaient 8 kg de plus au bout de 21 jours. Ces chiffres représentent des améliorations respectives de près de 10 % et de 17 % par rapport aux porcelets de truies de race pure.

Comme l'hétérosis observé est souvent proportionnel aux écarts de performance entre les races, les programmes de croisement peuvent tirer profit d'une grande diversité de matériel génétique. Les races chinoises semblent extrêmement prolifiques : les truies de races Taihu, Minpig, Xinhui et Large Spot produisent respectivement des portées de 16,1, 15,3, 13,3 et 13,3 porcelets, et le nombre de porcelets sevrés par portée est respectivement de 12,0, 10,6, 10,2 et 11,7 (Wu et Zhang, 1982). Ces races sont également caractérisées par un nombre

Tableau 7 Effet moyen d'hétérosis individuel et maternel mis en évidence par les études sur le croisement des porcins

	Hétérosis individuel		Hétérosis maternel	
	Sellier (1976)	Johnson (1981)	Sellier (1976)	Johnson (1981)
Taille de la portée à la naissance (nombre)	0,30 (3,0%)	0,23 (2,4%)	0,75 (8,0%)	0,93 (9,9%)
Taille de la portée à 21 jours (nombre)	0,45 (6,0%)	0,70 (10,2%)	0,85 (11,0%)	0,93 (13,0%)
Poids de la portée à 21 jours (kg)	9,00 (12,0%)	4,20 (12,0%)	8,0 (10,0%)	6,40 (16,7%)

Source : tiré de Johnson (1981).

élevé de mamelles en bon état (16 environ). Cependant, les porcelets ont un taux de croissance lent et, quand ils atteignent le poids d'abattage, ils sont beaucoup trop gras pour répondre aux normes occidentales. Thong (1974) a signalé l'existence d'une autre race prolifique en Asie du Sud-Est : la race vietnamienne I, qui, elle aussi, pourrait fournir des gènes pour améliorer la prolificité.

La France est récemment devenue le premier pays occidental à importer les races chinoises Meishan, Jiaxing et Jinhua et à les utiliser dans des croisements avec les races Large White et Landrace française (Legault et Caritez, 1983). Les résultats préliminaires des essais français ont indiqué que certains croisements entre des races chinoises et européennes donnaient des truies qui mettaient bas au moins un mois plus tôt, avaient un meilleur indice de conversion et produisaient entre cinq et huit fois plus de porcelets sevrés que les races pures européennes.

En 1973, le gain quotidien moyen à l'échelle nationale, calculé à l'aide de contrôles sur descendance des verrats évalués dans les stations canadiennes de contrôle d'aptitudes, était de 794 g. Dix ans plus tard, il était de 880 g. Il y a donc eu une amélioration phénotypique moyenne d'environ 8 g par année. Dans une population de Landrace sélectionnée pendant huit générations pour le gain quotidien moyen après le sevrage, Rahnefeld (1971), qui avait utilisé comme groupe témoin une population de race Yorkshire, a signalé une amélioration génétique de 8,2 g par génération.

Un grand nombre d'études de sélection ont utilisé des indices combinant le taux de croissance et d'autres caractères, dont l'épaisseur du gras dorsal (MacIver, 1971; Fredeen, 1976; Ollivier, 1979; Vangen, 1979; Mikami, 1982). Après 11 ans de sélection de verrats pour un indice combinant le gain quotidien moyen des mâles et des femelles, Ollivier (1980) a signalé des améliorations annuelles de 12 g chez les mâles et de 6 g chez les femelles. Par contre, après 12 ans de sélections divergentes d'un indice semblable, Vangen (1979) a signalé un taux de croissance légèrement amélioré dans la lignée sélectionnée pour un indice élevé et presque aucun changement dans la lignée sélectionnée d'un indice réduit. Des résultats non concluants ont été signalés par Mikami (1982), qui a sélectionné plusieurs souches de porcins en fonction d'un indice qui englobait l'épaisseur du gras dorsal, la superficie de la noix de côte, le pourcentage de jambon dans la carcasse et le gain quotidien moyen. Bien que la réponse à la sélection ait été positive dans le cas des trois premiers caractères, dans le cas du gain moyen, elle a été faible ou sans aucune tendance, sauf pour une souche, où la réponse a été significative. Dettmers et coll. (1965), dont les efforts de sélection visaient à réduire la taille des porcins à 140 jours, ont signalé une diminution de 29 % sur une période de 11 ans.

Johnson (1981) a examiné les études concernant l'effet des croisements sur le taux de croissance. Il a calculé que l'effet de l'hétérosis individuel moyen sur le gain quotidien était de 8,8 % dans le cas des études effectuées en Amérique du Nord, chiffre qui se

compare à l'estimation de 6 % fournie par Sellier (1976) pour les études européennes. Dans les deux cas, l'effet de l'hétérosis maternel sur le gain quotidien moyen était très faible, ce qui laisse croire que l'influence maternelle a peu d'importance après le sevrage.

Qualité des produits

Dans le cas des porcins, l'objectif principal consiste à produire des carcasses de grande qualité, contenant un minimum de gras et un maximum de viande maigre et exempte d'odeurs. Comme le montrent les statistiques des programmes canadiens d'évaluation, l'épaisseur moyenne du gras dorsal des porcs canadiens est passée, entre 1973 et 1983, de 19 mm à 14 mm, ce qui représente une réduction phénotypique de 0,6 mm par an environ. Étant donné que l'épaisseur du gras dorsal est fortement reliée à la teneur en maigre de la carcasse et que cette caractéristique se mesure facilement, on l'a beaucoup utilisée dans les programmes nationaux d'amélioration des porcins et dans un grand nombre d'essais de sélection. On l'a également incluse dans des indices de sélection, avec le taux de croissance (MacIver, 1971; Vogeli, 1978; Vangen, 1979; Ollivier, 1980), l'indice de conversion (Webb et King, 1976), la longueur de la carcasse et la superficie de la noix de côte (Bernard et Fahmy, 1970). Ces essais ont montré qu'il est possible d'obtenir une réponse positive, bien que moyenne, à la sélection (voir tableau 8) et que les réponses corrélées affectant d'autres caractères de la carcasse et de la reproduction étaient favorables.

Au cours des vingt dernières années, les efforts visant à augmenter la proportion de maigre se sont détournés de la sélection indirecte, qui visait l'épaisseur du gras dorsal, en faveur de la sélection directe pour la proportion de maigre, grâce à l'utilisation d'appareils à ultrasons qui mesurent l'épaisseur ou la coupe transversale du grand dorsal (*musculus longissimus dorsi*). Leymaster et coll. (1979) ont montré que cette sélection avait permis d'obtenir une légère réponse au bout de quatre générations (voir tableau 8).

On a mis au point, au Danemark, une nouvelle méthode de sélection visant à améliorer la qualité de la viande, grâce à l'utilisation de marqueurs génétiques (Andresen et Jensen 1979, Andresen et coll., 1979). Ces auteurs ont signalé que la sélection basée sur le système du groupe sanguin H ou sur une combinaison du système du groupe H et de la phosphohéxose isomérase, donnait de meilleurs résultats que la sélection directe pour la qualité de la viande.

Smith et Webb (1981) ont élaboré des méthodes permettant d'identifier un gène important dans la détermination d'un caractère quantitatif, ainsi que les techniques permettant d'utiliser ces gènes dans les programmes d'amélioration génétique. Cette démarche a

Tableau 8 Résultats de certains programmes de sélection visant à améliorer la qualité de la carcasse et l'efficacité alimentaire chez les porcins

Caractère sélectionné	Changements par génération		Références
	moyenne	pourcentage	
Épaisseur du gras dorsal (mm)	–1,2 –0,9	3,2 2,8	Hetzer et Harvey (1967)
Épaisseur du gras dorsal (mm)	–1,2	4,0	Gray et coll. (1968)
Épaisseur du gras dorsal (mm)	–0,6	2,6	Berruecos et coll. 1970
Longueur de la carcasse (mm)	+6,1	0,5	Duckworth et Holmes (1968)
Pourcentage de maigre Poids du maigre (kg)	+0,38 +0,50	0,6 1,6	Leymaster et coll. 1979
Gras dorsal + longueur (mm) Gras dorsal (mm)	–2,2 M*–0,5 F*–0,5	7,3 3,0 2,6	Webb et King (1976)
Taux de croissance à l'index (g)	M 14 F 41	1,9 6,3	
Efficacité alimentaire	M –0,04 F –0,07	1,2 2,0	
Efficacité alimentaire Pointage de la carcasse (points)	9 0,7	0,2 1,1	Bernard et Fahmy (1970)
Efficacité alimentaire	0,2	0,6	Junst et coll. (1981)

*M = mâles; F = femelles.

permis, par exemple, d'identifier le gène responsable de la réaction des porcins à l'halothane, réaction qui indique leur prédisposition au syndrome du stress des porcins (Eikelenboom et Minkema, 1974). Depuis le milieu des années 70, on s'intéresse de près au syndrome du stress chez le porc, responsable d'une gamme de symptômes dont une forte tendance à produire une viande pâle, molle et exsudative, et la mort subite des animaux susceptibles en période de stress. Webb et coll. (1982) ont indiqué que l'épreuve de l'halothane réalisée sur des porcins de 6 à 15 semaines permet de déceler avec précision les animaux susceptibles, que le pourcentage d'animaux susceptibles varie en fonction de la race et que ce caractère dépend d'un seul gène récessif. Cette épreuve permet maintenant d'identifier les sujets porteurs de ce gène, que l'on peut donc empêcher de se reproduire.

Renard et coll. (1982) ont étudié les liens qui existent entre le système d'histocompatibilité porcin (SLA) et les caractères de production de races françaises. Ils ont établi un lien entre l'haplotype SLA et les performances de plusieurs caractères d'intérêt économique chez les porcins.

On a récemment publié certaines études visant à resoudre le problème de l'odeur sexuelle chez les verrats. Willeke et Pirchner (1982) ont montré que cinq générations de sélection visant à modifier, positivement et négativement, le niveau d'androstérones 5 alpha, stéroïde responsable de l'odeur sexuelle, ont donné de bons résultats. Par contre, ils ont également signalé des réactions corrélées importantes affectant certains caractères de la carcasse.

La qualité de la carcasse étant très peu affectée par l'hétérosis (Young et coll., 1976), on peut prédire avec une précision raisonnable la qualité de la carcasse des porcins issus de croisements en effectuant la moyenne des valeurs des deux races pures utilisées pour le croisement. La tendance actuelle est d'utiliser des mâles de races renommées pour la qualité supérieure de leur carcasse, comme le Hampshire et le Duroc en Amérique du Nord et le Piétrain en Europe, et des femelles de races renommées pour leur grande prolificité ou leurs aptitudes maternelles, comme le Yorkshire (Large White), le Landrace, le Lacombe, ou des femelles issues de croisements entre ces races. On porte un intérêt croissant à ce concept qui fait intervenir des lignées mâles et femelles spécialisées. En Grande-Bretagne, on poursuit des efforts visant à développer une lignée spéciale de verrats en se basant sur le concept de la migration ouverte (Webb et King, 1976).

Réduction des coûts

Entre 1973 et 1982, l'efficacité alimentaire des verrats évalués dans les stations d'épreuves canadiennes est passée de 3,03 kg à 2,44 kg d'aliments par kilogramme de gain, ce qui représente une amélioration phénotypique annuelle d'environ 65 g/kg. Ainsi, en moyenne, un porcin a besoin de 60 kg d'aliments de moins qu'il y a dix

ans pour atteindre le poids de commercialisation. Bernard et Fahmy (1970), ainsi que Junst et coll. (1981) ont publié des résultats sur la sélection directe de l'efficacité alimentaire. Dans ces deux études, la réponse génétique à la sélection s'est avérée plutôt faible : 0,09 et 0,10 kg d'aliments par kilogramme de gain respectivement (voir tableau 8). Par contre, Vangen (1979), ainsi que Sather et Fredeen (1978), qui ont sélectionné des porcins pour un indice regroupant le taux de croissance et l'épaisseur du gras dorsal, ont fait état d'une amélioration substantielle de ces deux caractères et d'une amélioration corrélée marquée de l'efficacité alimentaire. Il est donc possible qu'il soit économiquement plus avantageux de sélectionner indirectement ce caractère dont la mesure implique des coûts élevés. L'effet d'hétérosis sur l'efficacité alimentaire est moyen (Sellier, 1970; Johnson, 1981).

La réduction de la mortalité embryonnaire et post-natale semble être le facteur le plus important dans l'amélioration de la production porcine, grâce à une réduction des coûts de production. Jusqu'à 30 % des embryons meurent avant la mise bas (Dufour et Fahmy, 1975; Marlowe et Smith, 1971) et entre 20 et 25 % des porcelets restants meurent avant le sevrage (Fahmy et Bernard, 1971; Backestrom, 1973). Un grand nombre de recherches ont tenté d'établir un lien entre la mortalité embryonnaire et la capacité de l'utérus (Dziuk, 1968; Bazer et coll., 1969; Fenton et coll., 1972; Webel et Dziuk, 1974). Jusqu'au trentième jour de la gestation, l'espace utérin semble avoir peu d'influence sur la survie des embryons, mais l'encombrement peut constituer un facteur limitatif durant les derniers stades de la gestation. Les chercheurs ne savent toujours pas ce qui cause la mortalité embryonnaire au début de la gestation. Un embryon croisé est plus susceptible de survivre qu'un embryon de race pure (Dufour et Fahmy, 1975). Cette constatation indique que la mortalité peut être une forme de sélection naturelle visant à éliminer les embryons moins aptes du point de vue génétique.

Bereskin et coll. (1973), se fondant sur les résultats obtenus avec plus de 10 000 portées, ont montré que seulement 72 % des porcelets nés vivants ont survécu jusqu'au sevrage et que seulement 66 % ont survécu jusqu'au poids de consommation. Bien que ces pertes puissent être en grande partie attribuées à une mauvaise conduite de l'élevage, un grand nombre d'études ont tenté de relier la mortalité avec des facteurs mesurables. Stanton et Carroll (1974) ont examiné la documentation sur la mortalité périnatale des porcelets et ont comparé cette mortalité à celle d'autres espèces. Ils ont démontré qu'un grand nombre de caractéristiques propres à la truie, comme le flux sanguin de l'utérus, le stress psychologique et certains facteurs endocriniens, peuvent influencer la mortalité embryonnaire et post-natale chez les porcelets. Ils ont également indiqué qu'il faudrait faire plus de recherches sur les conséquences physiologiques du stress psychosocial chez la truie en gestation.

Pour tenter d'améliorer génétiquement le taux de survie des porcelets, Fahmy et Bernard (1978) ont essayé de développer une

lignée résistant à l'anémie en sélectionnant des porcins de race Yorkshire pour le niveau d'hémoglobine à l'âge de 28 jours. Après quatre générations de sélection, ils ont pu remarquer une différence marquée et très significative dans le niveau d'hémoglobine des porcelets jusqu'à l'âge de 28 jours entre la lignée sélectionnée et la lignée témoin (8 contre 6,5 g/100 mL). Ils ont conclu qu'il serait possible de développer une lignée de porcins ayant une plus forte concentration naturelle de fer ou un meilleur métabolisme du fer; les porcelets seraient plus aptes à maintenir un niveau adéquat d'hémoglobine et leur taux de survie serait plus élevé.

Plusieurs recherches ont récemment visé à comprendre et influencer la résistance des porcins aux maladies. Au Canada, par exemple, des études ont porté sur les aspects génétiques de la rhinite atrophique, virose qui ralentit le taux de croissance et réduit l'efficacité alimentaire. Kennedy et Moxley (1980) ont estimé l'héritabilité de l'incidence de la rhinite à 0,12 chez trois races porcines. Ils ont également montré que les croisements simples et les croisements de retour n'apportaient qu'une faible amélioration (1,1 et 3,4 % respectivement) par rapport aux races pures, tandis que les croisements triples donnaient une nette amélioration par rapport aux races pures (22,1 %). Ils ont par ailleurs montré que les croisements permettaient de réduire la fréquence de la rhinite dans des proportions variant de 10,1 à 28,5 % (Kennedy et Moxley, 1980).

Perspectives

De plus grands échanges d'animaux entre les pays et les continents devraient permettre de combiner les meilleurs éléments génétiques disponibles pour atteindre les objectifs d'amélioration génétique. Les progrès réalisés en génie génétique auront un effet important sur l'avenir du secteur des porcins. À la longue, les progrès réalisés en insémination artificielle et dans les techniques connexes devraient permettre de congeler la semence et donc d'augmenter la portée de l'utilisation de verrats génétiquement supérieurs. Les progrès réalisés en physiologie de la reproduction devraient faciliter la synchronisation de l'oestrus et la superovulation, procédés que les éleveurs pourront utiliser sur place. On devrait être en mesure de résoudre certains problèmes de reproduction comme la stérilité et les longs intervalles entre le sevrage et la conception.

Les progrès réalisés dans la nutrition des porcelets devraient permettre l'élevage artificiel des porcelets à l'aide d'un régime liquide ou sec à partir de quelques jours après la naissance et devraient réduire le taux élevé de mortalité post-natale. La mise au point de nouveau matériel permettant de mesurer avec précision la composition anatomique, le taux d'ovulation et d'autres caractères importants devraient profiter aux programmes de sélection.

Grâce aux progrès rapides de la technologie des ordinateurs, toutes les opérations agricoles pourraient bientôt être informatisées,

ce qui rendrait plus rapides et plus précises les stratégies d'amélioration génétique et les décisions de gestion.

POULETS DE PONTE

R.W. Fairfull

En 1986, 23,5 millions de poules ont produit 491 millions de douzaines d'oeufs au Canada, pour une valeur totale de 512 millions de dollars. La consommation moyenne a été de 17,6 douzaines d'oeufs par habitant, ce qui représente une baisse par rapport au record de quelque 25 douzaines enregistré en 1957. Le nombre de pondeuses est demeuré relativement constant depuis 1976, mais a diminué de 19 % environ par rapport au chiffre record de quelque 29,1 millions de pondeuses en 1957.

Le secteur de l'amélioration génétique des souches avicoles de ponte est international, moderne et très compétitif. Six ou sept grandes entreprises dominent la majeure partie du marché international des pondeuses commerciales. Toutefois, certains pays comme la Norvège et l'Australie excluent totalement les souches importées.

Le marché des oeufs se divise en trois sections, en fonction de la couleur de la coquille d'oeuf : brune, teintée ou blanche. Chacune de ces catégories utilise des populations de base différentes pour produire des pondeuses commerciales. Normalement, on utilise au moins trois souches ou lignées primaires pour produire des troupeaux hybrides de pondeuses commerciales. Les lignées utilisées peuvent varier pour s'adapter à différents climats ou différents marchés. L'amélioration génétique du troupeau commercial se fait par sélection au sein de lignées pures ou par sélection de lignées pures en fonction des performances de croisement. Les grandes entreprises de sélection consacrent des ressources considérables au maintien ou à l'amélioration de la qualité génétique de leurs lignées pures.

Une pondeuse commerciale doit avoir de bonnes performances dans la gamme complète des caractères essentiels : forte production d'oeufs sur une longue période, oeufs de gros calibre, maturité sexuelle précoce, bonne fécondité et éclosabilité, bonne viabilité, faible dimension corporelle, coquille résistante, intérieur de l'oeuf de qualité supérieure et bonne efficacité alimentaire. Aucun éleveur commercial ne peut espérer faire de bonnes affaires avec un troupeau ayant des performances significativement inférieures à celles des troupeaux de ses concurrents, pour l'un ou l'autre de ces caractères essentiels.

Clayton (1968, 1972) était de ceux qui doutaient qu'une amélioration génétique eut été réalisée dans le cas des pondeuses. Par le passé, la médiocrité des relevés, les grands progrès réalisés dans les domaines de l'aménagement du milieu et de la lutte contre les maladies, ainsi que la mauvaise conception des comparaisons entre les

troupeaux commerciaux ont fait qu'il était pratiquement impossible de dissocier l'amélioration génétique des autres facteurs influençant les performances. Toutefois, malgré ces problèmes, la plupart de ses collègues ont contesté l'opinion de Clayton (Dickerson et Mather, 1976; Foster et Weatherup, 1977; Flock, 1978, 1979), et Clayton lui-même (1978) a fini par changer d'avis.

Flock (1978, 1979) a fait valoir que le nombre d'oeufs par poule avait au moins doublé au cours des 20 à 30 dernières années, parallèlement à une augmentation au quintuple du nombre d'oeufs que permet d'acheter une heure de travail. À partir des résultats d'échantillonnages aléatoires, Dickerson et Mather (1976) ainsi que Foster et Weatherup (1977) ont conclu qu'une amélioration génétique s'était produite, dans plusieurs troupeaux individuels ainsi que dans l'ensemble des troupeaux. Ce dernier point est important, parce qu'une partie de l'amélioration constatée au fil des années a découlé de l'élimination d'entreprises d'élevage.

Les estimations des tendances qui se dessinent dans les troupeaux commerciaux se fondent sur deux types d'échantillonnages aléatoires : les sommaires des contrôles de production d'oeufs par échantillonnage aléatoire sur une période de deux ans, réalisés par le ministère américain de l'Agriculture (USDA) (voir tableau 9), et l'Épreuve centrale de ponte (voir tableau 10). La validité des échantillonnages aléatoires a été examinée de près par Dickerson (1965) et Fox (1978). Aucun des contrôles résumés dans le sommaire des échantillonnages nord-américains de l'USDA ne faisait intervenir des souches témoins, ce qui implique que les tendances que l'on peut dégager à partir de cette source ne sont pas exclusivement génétiques. Les tendances estimées à partir de l'Épreuve centrale de ponte se fondent sur les écarts par rapport à une souche témoin et représentent donc une évolution génétique. Les tendances ont été estimées à l'aide de régressions des moyennes (ou des écarts moyens) pour chaque caractère au fil des ans. Dans les deux cas, on examine séparément deux troupeaux commerciaux fréquemment utilisés (B et C) et présents à chaque année.

La période allant de 1970 à 1980 se prête particulièrement à une estimation des progrès génétiques, parce qu'aucune amélioration majeure des facteurs du milieu ne s'est produite durant ces années (Flock, 1979). La vaccination contre la maladie de Marek s'est généralisée en 1970, et les nouvelles données sur le virus de la leucose lymphoïde (LLV) n'ont produit des effets qu'à partir de 1980 (Gavora et coll., 1980).

Tableau 9 Changement phénotypique annuel moyen dans les performances des pondeuses commerciales, estimé à partir d'une moyenne combinée de tous les échantillonnages aléatoires effectués en Amérique du Nord, 1970–1977

Caractère	Souche commerciale		
	Toutes	B	C
Rendement			
Production d'oeufs (nombre)	4,0	5,6	2,0
Poids des oeufs (g)	–0,23	–0,05	–0,20
Oeufs de calibre extra-gros et gros (%)	–2,1	–0,6	–1,5
Revenu net ($)	0,65	0,65	0,48
Qualité des produits			
Qualité de la coquille (pesanteur de l'oeuf)	0,05	–0,06	0,02
Unités Haugh	–0,38	–0,05	–0,32
Taches de sang (%)	0,02	–0,01	–0,01
Taches de chair (%)	–0,06	0,01	0,01
Réduction des coûts			
Maturité sexuelle (jours)	–2,5	–2,4	–1,0
Indice de conversion alimentaire	–0,019	–0,036	–0,004
Poids corporel (g)	–51,0	–32,0	–29,0
Viabilité (%)	0,18	0,03	0,14
Viabilité de ponte (%)	0,83	0,83	0,81

Caractères liés au rendement

Le principal caractère lié au rendement, la production d'oeufs, est fonction de la maturité sexuelle, du taux de production d'oeufs et de la viabilité. Le potentiel génétique de production d'oeufs des troupeaux commerciaux a augmenté de façon importante (voir tableaux 9 et 10). Les estimations les plus pessimistes de l'évolution du potentiel génétique indiquent une augmentation de 13 oeufs par poule sur la période visée de dix ans, pour le troupeau commercial B, qui avait au départ un potentiel de production d'oeufs extrêmement élevé (voir tableau 10). Parallèlement, le potentiel génétique lié au calibre des oeufs a augmenté, selon les estimations basées sur le poids des oeufs et la proportion d'oeufs de calibres extra-gros et gros (voir tableau 10).

Tableau 10 Changement génétique annuel moyen dans les performances des pondeuses commerciales, estimé à partir des contrôles de production d'oeufs dans le centre du Canada, 1970–1980

Caractère	Souche commerciale		
	Toutes	B	C
Rendement			
Production d'oeufs (nombre)	3,2	1,3	2,1
Poids des oeufs (g)	0,19	0,28	0,09
Oeufs de calibre extra-gros et gros (%)	1,3	1,5	0,9
Revenu net ($)	0,29	0,28	0,29
Qualité des produits			
Qualité de la coquille (pesanteur de l'oeuf)	0,018	0,004	0,130
Proportion d'albumen Unités Haugh	–0,06	–0,16	0,07
Taches de sang (%)	0,02	0,02	–0,06
Taches de chair (%)	0,02	–0,01	–0,01
Réduction des coûts			
Maturité sexuelle (jours)	–0,9	–1,6	–0,4
Indice de conversion alimentaire	–0,033	–0,033	–0,026
Poids corporel (g)	–0,1	–0,2	–0,2
Viabilité (%)	0,15	–0,73	0,51
Viabilité de ponte (%)	0,36	–0,39	0,60

Une étude de sélection à long terme pour des caractères multiples a montré qu'il était possible d'obtenir des gains constants d'un à deux oeufs et de 0,3 g par oeuf à chaque génération, même avec des populations relativement limitées (Gowe et Fairfull, 1984, 1985).

Un facteur environnemental peut avoir contribué à une réduction du calibre des oeufs, car, jusqu'en 1977, le calibre avait tendance à diminuer (voir tableau 9). L'amélioration génétique touchant le calibre des oeufs a été faible comparativement à l'amélioration touchant la production d'oeufs. On pouvait s'attendre à un tel résultat, car les producteurs cherchent à obtenir un calibre d'oeuf optimal plutôt qu'une augmentation constante du calibre. Certains éleveurs commerciaux ayant des troupeaux qui pondent des oeufs de

gros calibre ont récemment réduit le potentiel de calibre d'oeuf de leurs troupeaux, en réponse aux pressions du marché.

Il est difficile de comprendre la tendance à l'augmentation du revenu net (voir tableaux 9 et 10). Le revenu net est influencé par une interaction complexe des coûts et des rentrées. Toutefois, durant les années 70, les coûts ont augmenté de façon importante par rapport aux rentrées (Adolph, 1976; Bonzer et Plumart, 1976; Plumart et Bonzer, 1976). Cette tendance indique que l'amélioration génétique des troupeaux de ponte a permis à ces derniers de rester rentables.

Qualité des produits

Pour ce qui est des caractères touchant la qualité de l'oeuf, le potentiel génétique n'a pas beaucoup changé (voir tableaux 9 et 10). Le changement le plus notoire a été une légère augmentation de la qualité (résistance) de la coquille. Cette stabilité indique qu'il a été possible de maintenir la haute qualité de l'intérieur et de l'extérieur de l'oeuf tout en augmentant de beaucoup la production d'oeufs. Les résultats des expérimentations confirment cette affirmation. Les études de Rhodda et coll. (1977), de Friars et coll. (1978) et d'Akbar et coll. (1983) ont montré que la sélection n'avait produit aucune dilution du vitellus ni de l'albumen et que le pourcentage de solides dans l'albumen avait peut-être augmenté légèrement. Par contre, le rapport vitellus/albumen s'est modifié en faveur de l'albumen, c'est-à-dire que la quantité d'albumen a augmenté davantage que celle du vitellus. Les populations expérimentales ont montré qu'il est possible d'obtenir des améliorations substantielles des caractères touchant la qualité des oeufs (Gowe et Fairfull, 1980).

Réduction des coûts

Les troupeaux commerciaux ont le potentiel génétique de pondre à un âge de plus en plus jeune (voir tableaux 9 et 10). La plus grande précocité de la maturité sexuelle a contribué à augmenter le potentiel de rendement et à diminuer les coûts en augmentant le nombre de jours où des oeufs peuvent être pondus et en raccourcissant la période pendant laquelle il faut entretenir les poules sans obtenir d'oeufs. Comme résultat indirect de l'augmentation du nombre et du calibre des oeufs, le potentiel génétique des troupeaux commerciaux pour la conversion des aliments en protéines de haute qualité s'est amélioré de façon importante. Toutefois, la variation génétique de la conversion des aliments est indépendante du calibre des oeufs et de la dimension de l'animal; il est donc possible que la sélection directe puisse augmenter le taux de réponse (Fairfull et Gowe, 1979).

Dans le cas de la dimension corporelle, les modifications du potentiel génétique ont été très faibles (voir tableaux 9 et 10). La réduction de la dimension corporelle est souhaitable chez les pondeuses, parce que plus elles sont petites, plus la quantité d'énergie

nécessaire à leur entretien est faible. Toutefois, chez les pondeuses, une faible dimension corporelle est généralement associée génétiquement avec un plus petit calibre et un plus petit nombre d'oeufs. Maintenir un faible poids corporel tout en augmentant le nombre et le calibre des oeufs représente donc tout un défi.

Le potentiel génétique de viabilité a augmenté chez les troupeaux commerciaux (voir tableaux 9 et 10). Une plus grande viabilité augmente considérablement la production d'oeufs et en réduit le coût. Les éleveurs utilisent aujourd'hui des gènes d'histocompatibilité, qui confèrent une résistance génétique à la maladie de Marek (Gavora et Spencer, 1979). On a identifié plusieurs haplotypes qui augmentent la résistance à la maladie de Marek (Longnecker et coll., 1976; Briles et coll., 1977; Gavora et coll., 1982*a*). La viabilité des sujets, y compris de ceux qui sont vaccinés, est supérieure s'ils possèdent une résistance génétique à la maladie de Marek (Spencer et coll., 1974).

La leucose lymphoïde aviaire réduit l'efficacité de la sélection génétique (Gavora et coll., 1980). Le relâchement de la sélection pendant la production d'hybrides commerciaux entraîne une réduction importante des performances à cause de l'incidence plus élevée de l'infection. Les sujets infectés produisent généralement moins et sont la plupart du temps éliminés du circuit de la reproduction dans les lignées sélectionnées. À l'heure actuelle, un grand nombre d'éleveurs commerciaux sont en voie d'éliminer ce virus de leurs troupeaux.

Perspectives

Le potentiel génétique des poules de ponte a augmenté considérablement au cours des dix dernières années. Cette amélioration génétique touche surtout les caractères liés au rendement et à la réduction des coûts. Les caractères liés à la qualité des oeufs se sont maintenus à des niveaux élevés et n'ont connu que de faibles améliorations.

Trois facteurs ont influencé l'amélioration des troupeaux de ponte : la sélection pour caractères multiples, le croisement des souches ou des races et l'élimination des lignées, souches ou troupeaux commerciaux les moins désirables. La sélection en fonction de caractères multiples a constitué le facteur le plus important dans l'amélioration constante des troupeaux de ponte. Les gains réalisés par chaque génération sont cumulatifs tant que la sélection se poursuit. Les poules très performantes sont identifiées à l'aide de méthodes modernes. Elles doivent avoir une excellente performance pour tous les caractères d'importance économique : forte production d'oeufs, longue période de ponte, oeufs de gros calibre, maturité sexuelle précoce, fécondité et éclosabilité élevées, excellente viabilité, faible dimension corporelle, coquille d'oeuf résistante et qualité d'oeuf supérieure.

Le croisement de souches ou de races en vue de tirer profit de l'effet d'hétérosis et d'autres effets suit en importance. Grâce à

l'hétérosis, la production d'oeufs augmente de 8 % et l'efficacité de 6 %. Les croisements permettent aussi à l'éleveur de combiner les points forts de lignées différentes ou de compenser un point faible dans une lignée qui est par ailleurs supérieure.

Enfin, les génotypes non désirables ont été éliminés sans merci. Le plus souvent, cela s'est fait par la fermeture d'entreprises d'élevage, dont des milliers ont fait faillite depuis le début du siècle. On a également changé les lignées utilisées dans les troupeaux commerciaux. On élabore et on évalue des lignées de façon constante et on remplace, au besoin, les lignées contribuant à un troupeau commercial donnée.

La sélection de caractères multiples et les croisements continueront de jouer un rôle important. Les éleveurs augmenteront la fréquence des gènes qui confèrent une résistance aux principales maladies. Dans la mesure du possible, les maladies seront éliminées totalement dans les troupeaux primaires de reproduction. En plus d'entraîner une amélioration des performances, l'élimination des maladies améliorera la précision de la sélection, ce qui permettra d'accélérer les progrès génétiques.

La production d'oeufs demeurera un caractère de première importance. Les caractères liés à la réduction des coûts, particulièrement la conversion des aliments, prendront de l'importance. Les autres caractères demeureront importants, mais il est probable que leur importance relative ne change pas.

Des techniques biologiques modernes, comme le transfert génique, seront appliquées aux souches de poules pondeuses. Pour commencer, ces techniques se limiteront à des gènes ou à des régions de chromosomes associés à des effets importants.

POULETS DE CHAIR

J.R. Chambers

En 1982, la valeur de la production de poulets de chair au Canada a dépassé un milliard de dollars et elle continue d'augmenter. La production canadienne pour cette année-là correspond approximativement à 93 % de la consommation nationale, qui a dépassé 425 millions de kilogrammes de poulet éviscéré. La consommation par habitant a été d'un peu plus de 17 kg.

Caractères liés au rendement

Au cours des trente dernières années, les éleveurs ont considérablement augmenté le taux de croissance des poulets à griller. Les données montrent que les poulets à griller commerciaux produits en 1978 croissaient au moins deux fois plus rapidement que les poulets à griller de lignées témoins. Les lignées témoins utilisées pour ces

comparaisons avaient été établies dès 1958 à partir de troupeaux de reproduction obtenus en 1955, et on les a, depuis, conservées sans sélection artificielle (Marks, 1979; Chambers et coll., 1981). La sélection pour l'augmentation du poids corporel est associée à des gains positifs de l'appétit et de la conversion des aliments (Siegel et Wisman, 1966; Wilson, 1969). Lorsqu'on les a limités à la ration quotidienne des poulets à griller de lignées à croissance lente, les poulets à griller de lignées à croissance rapide n'ont connu qu'une croissance légèrement plus rapide et légèrement plus efficace que les poulets à croissance lente (Proudman et coll., 1970).

Qualité des produits

La charnure, la conformation et la couverture de la carcasse correspondent au côté esthétique de la qualité de la carcasse. Il s'est avéré impossible d'établir des épreuves quantitatives permettant de mesurer l'amélioration réalisée dans ce domaine. Cependant, l'excellence générale de ces caractères indique qu'une amélioration génétique satisfaisante s'est produite. Au cours des dix dernières années, les consommateurs et les transformateurs se sont plaints du fait que les poulets à griller trop gras avaient augmenté en nombre. Une proportion excessive de gras découle d'une augmentation du gras de la carcasse et du gras abdominal. Il existe une forte corrélation positive entre ces deux derniers caractères (Griffiths et coll., 1978; Becker et coll., 1979). Plus de 2 % du poids des poulets à griller gras peut consister en gras de gésier, un élément du gras abdominal qui est rejeté à l'éviscération. Le rendement à l'abattage, c'est-à-dire la proportion du poids vif du poulet que représente la carcasse éviscérée, est donc réduit chez les poulets à griller gras. De plus, la gamme (le gras abdominal laissé dans la carcasse éviscérée) peut constituer plus de 3 % du poids des poulets à griller gras. Le plus souvent, le consommateur enlève et jette ce gras avant de cuire le poulet. Il est possible de réduire le gras abdominal par la sélection (Leclercq et coll., 1980) ou grâce à une réaction corrélée à la sélection pour la conversion des aliments (Pym et Solvyns, 1979). Les élevages commerciaux de poulets de chair n'appliquent ces méthodes que depuis peu.

Il existe une forte corrélation entre certains composants chimiques de la carcasse, comme la teneur en protéines, en eau et en cendre; cependant, la teneur en gras de la carcasse est plus indépendante des autres caractéristiques. À cause des rapports qui existent entre ces composants quand on les quantifie en proportion du poids total de la carcasse, un plus grand pourcentage de gras fait baisser la proportion des autres composants.

Une plus grande adiposité est liée à une conversion des aliments moins efficace, autant du point de vue phénotypique (Washburn et coll., 1975) que du point de vue génétique (Pym et Solvyns, 1979; Leclercq et coll., 1980). On a observé un effet d'hétérosis négatif sur l'adiposité parmi les croisements de cailles japonaises (Wyatt et coll.,

1982). Ce lien peut expliquer la plus grande efficacité alimentaire des souches croisées par rapport aux souches pures de poulets à griller.

Les proportions des divers morceaux de la carcasse n'ont pas changé. Malgré de profonds écarts dans les taux de croissance (Chambers et coll., 1981), les différences entre les poulets d'aujourd'hui et ceux des années 50 sont faibles et touchent peu de caractères. Il est probable que les faibles différences observées correspondent à des changements dans le développement. La proportion du cou, des ailes et de la poitrine dans la carcasse augmente avec l'âge, tandis que celle du pilon et du dos diminue graduellement jusqu'à l'âge de 10 semaines (Leeson et Summers, 1980).

Réduction des coûts

Le coût de l'alimentation dépasse souvent 60 % des coûts de production des poulets à griller. Les éleveurs ont quand même été réticents à mesurer l'efficacité alimentaire ou l'indice de conversion, parce que le contrôle de la consommation individuelle exige des installations spéciales et une plus grande main-d'oeuvre.

La comparaison de l'indice de conversion des poulets à griller modernes jusqu'à un âge donné (1978) avec celui de poulets restés inchangés depuis 1958 montre que l'indice des poulets modernes n'est que légèrement supérieur : 2,0 contre 2,1 (Marks, 1979) et 1,9 contre 2,0 (Chambers et coll., 1981). Des résultats plus concluants ont été obtenus à l'aide de comparaisons fondées sur des épreuves jusqu'à un poids donné. Les souches de poulets à croissance lente utilisées dans les études de Marks et de Chambers et coll. auraient exigé plus de temps pour atteindre le poids voulu, et leur indice de conversion aurait augmenté de façon marquée.

Les efforts visant à améliorer la production des poussins à griller ont permis de réduire les coûts de production des poulets à griller. Parmi les caractères liés aux hautes performances des poulets à griller, il y en a peu qui sont en corrélation positive à la fois avec le nombre de poussins et avec les performances des poulets à griller, et on n'a constaté que des progrès modestes à cet égard. En conséquence, les souches parentales de poulets à griller sont généralement inférieures aux souches Leghorn pour ce qui est du nombre d'oeufs par poule, du pourcentage d'oeufs fécondés et du taux d'éclosabilité des oeufs fécondés. Une autre caractéristique des souches maternelles de poulet à griller est le pourcentage relativement élevé d'oeufs défectueux, associé à une oviposition irrégulière (Jaap et Muir, 1968; Reddy et Siegel, 1976). Ce phénomène donne lieu à des oeufs à jaune double et à des oeufs à jaune simple dont la coquille est mince, crayeuse ou bosselée. Ces oeufs ne conviennent pas à la mise en incubation.

De grandes possibilités d'amélioration s'offrent sur le plan de la réduction des coûts. Une baisse de la mortalité et de l'incidence des malformations et des maladies chez les poulets à griller et dans les

troupeaux parentaux permettrait d'augmenter la production de poulets et de réduire le coût des poussins à griller. L'augmentation de la fréquence du syndrome de la mort subite (ou crise cardiaque) et des malformations chez les poulets à griller, deux problèmes associés à un taux de croissance accéléré, est responsable de pertes financières importantes dans le domaine de la production des poulets à griller. En règle générale, une forte proportion de la mortalité des poulets à griller est attribuable au syndrome de la mort subite (Brigden et Riddell, 1975). Le manque à gagner découlant des maladies est dû non seulement à la mortalité, mais aussi à une baisse des performances causée par les infections subcliniques. Les descendants de mères infectées par le virus de la leucose lymphoïde ont un poids inférieur à celui de poulets normaux (Gavora et coll., 1982*b*). À l'exception des travaux effectués sur la maladie de Marek (Friars et coll., 1972), il semble y avoir peu de sélection pour la résistance aux maladies dans les lignées commerciales de poulets à griller.

Réalisations

Les éleveurs de poulets à griller préfèrent travailler à l'amélioration génétique du taux de croissance, parce qu'il est facile de peser un poulet vivant sans trop perturber le reste du troupeau. En outre, le poids du poulet âgé de 6 à 12 semaines a une héritabilité allant de moyenne à forte (Kinney, 1969). Dans une étude portant sur 176 héritabilités, Siegel (1962) a signalé une valeur moyenne de 0,41. On ne sait pas quelle proportion de l'amélioration du taux de croissance est due à l'adoption de lignées supérieures pour les programmes de croisement et quelle proportion est attribuable à la sélection de sujets supérieurs au sein d'une même lignée. On sait toutefois que, dans les années 70, les éleveurs commerciaux ont opté pour une sélection intense, soit pour le poids du poulet soit pour le gain pondéral pendant une phase donnée de la croissance du poulet, et qu'ils continuent de la pratiquer.

L'augmentation du taux de croissance s'est accompagnée d'une augmentation de l'appétit et d'une amélioration de l'indice de conversion (Siegel et Wisman, 1966; Wilson, 1969; Pym et Nicholls, 1979). Une croissance rapide n'est pas possible si la consommation d'aliments est limitée (Proudman et coll., 1970).

La charnure et la conformation de la carcasse sont évaluées à l'aide de diverses mensurations comme l'angle de la poitrine, la longueur du bréchet, la largeur du thorax et la profondeur du corps. L'héritabilité de ces caractères varie de moyenne à forte (Merritt, 1966; Ricard et Rouvier, 1968), ce qui veut dire que leur amélioration génétique peut se faire rapidement.

Il aurait été possible d'éliminer le problème de l'excédent de gras chez les poulets à griller en utilisant des programmes appropriés d'amélioration génétique. L'adiposité est non seulement un caractère

variable, avec des coefficients de variation qui dépassent souvent 25 % (Ricard et Rouvier, 1969; Becker et coll., 1979; Chambers et coll., 1981), mais c'est aussi un caractère fortement héritable (Ricard et Rouvier, 1967, 1969; Leclercq et coll., 1980; Chambers et Gavora, 1982; Chambers et coll., 1984). On a signalé une variation du gras abdominal d'une souche à une autre (Edwards et Denman, 1975; Farr et coll., 1977; van Middelkoop et coll., 1977; Griffiths et coll., 1978). Les difficultés que pose la mesure précise de l'adiposité ont ralenti la réduction génétique de l'adiposité des poulets à griller. L'adiposité ne peut se mesurer directement qu'après l'abattage du poulet. L'amélioration génétique peut se faire par la sélection de frères et soeurs. Les mesures prises sur un poulet vivant ne permettent pas de prédire l'adiposité avec précision. De plus, ce n'est qu'au cours des dix dernières années que les éleveurs ont pris conscience de la gravité du problème de l'adiposité et de ses effets défavorables sur l'indice de conversion (Washburn et coll., 1975; Pym et Solvyns, 1979; Leclercq et coll., 1980; Chambers et Gavora, 1982; Chambers et coll., 1984).

La mesure de l'efficacité alimentaire de chaque poulet coûte cher, non seulement en main-d'oeuvre, mais aussi en installations. C'est pourquoi Fox et Bohren (1954) ainsi que Wilson (1969) ont recommandé l'amélioration indirecte de l'efficacité alimentaire par réaction corrélée à la sélection de la rapidité du gain pondéral. Les éleveurs ont suivi cette recommandation jusqu'à récemment. Aujourd'hui, cependant, on mesure l'efficacité alimentaire directement parce qu'il a été démontré qu'une part importante de la variation de l'efficacité était indépendante du gain pondéral (Guill et Washburn, 1974; Pym et Nicholls, 1979; Chambers et coll., 1983). On a également trouvé de fortes corrélations favorables entre la proportion de maigre de la carcasse et l'indice de conversion.

L'héritabilité des caractères liés à l'efficacité de reproduction n'est que faible à moyenne (Kinney, 1969; Fiser et Chambers, 1981). Par ailleurs, il existe un antagonisme, non seulement entre ces caractères et le taux de croissance des poulets (Soller et coll., 1965), mais aussi, fréquemment, entre ces caractères eux-mêmes. Les progrès limités qui ont été réalisés découlent de la sélection génétique pour des caractères appropriés au sein de certaines lignées et de la sélection de lignées spécialisées supérieures pour la production de reproducteurs mâles et femelles. Il semble que l'amélioration de la productivité obtenue grâce à la sélection de lignées maternelles spécialisées est à peine meilleure que l'amélioration obtenue grâce à la sélection pour le rendement en viande au sein de certaines lignées. Toutefois, les possibilités de réussite sont supérieures dans le cas de la sélection de lignées maternelles spécialisées, parce qu'il existe des liens négatifs entre la productivité et les performances de reproduction des femelles (Moav et Hill, 1966).

Certains problèmes, comme le syndrome de la mort subite et les malformations, sont devenus plus fréquents à mesure que le taux de croissance augmentait. Ce lien laisse croire qu'il se produit un

déséquilibre physiologique. On ne connaît pas les causes précises du syndrome de la mort subite; on sait toutefois que sa fréquence varie d'une souche de poulets à griller à une autre (Brigden et Riddell, 1975). De plus, on a découvert que la sélection permet aussi de modifier la fréquence de la dyschondroplasie tibiale, malformation courante chez les poulets à griller (Riddell, 1976; Sheridan et coll., 1978). Ces constatations laissent croire que l'on aurait pu réduire l'importance de ces problèmes si l'on en avait tenu compte dans les programmes d'amélioration génétique.

La prévention des maladies par la vaccination ou par le maintien de troupeaux sains et d'installations propres a été préférée à la prévention par la sélection génétique pour la résistance aux maladies. Quand ces programmes donnent de bons résultats, on peut consacrer à l'amélioration d'autres caractères d'intérêt économique les efforts de sélection qu'il aurait fallu orienter vers la résistance aux maladies.

Perspectives

On devrait assister, dans les années à venir, à un recours plus fréquent à la sélection spécialisée de caractères multiples au sein de lignées paternelles ou maternelles utilisées pour les croisements. Le taux de croissance continuera de s'améliorer, quoiqu'à un rythme plus lent, en raison de la sélection de caractères multiples, de la plus grande importance accordée aux caractères de reproduction antagonistes et des efforts orientés vers la réduction du déséquilibre physiologique. On peut s'attendre à une réduction génétique rapide de l'adiposité des poulets à griller; toutefois les progrès seront coûteux, à moins que l'on ne trouve des caractères que l'on peut mesurer chez les sujets vivants pour prédire avec suffisamment de précision la proportion de gras de carcasse ou de gras abdominal. L'efficacité alimentaire s'améliorera grâce à une sélection directe qui tirera parti soit d'une variation indépendante du taux de croissance, soit d'une réaction corrélée à la réduction de l'adiposité des poulets à griller. La sélection de caractères multiples devrait permettre d'améliorer l'efficacité de reproduction; on pourra toutefois compter sur des progrès importants si un grand nombre d'éleveurs adoptent la souche maternelle naine (Japp et Mohammadian, 1969; Guillaume, 1976) pour produire des poulets à griller concurrentiels. La mère naine consomme 25 % moins de nourritures, exige moins d'espace, pond moins d'oeufs défectueux et produit des descendants un peu plus légers en raison du calibre réduit des oeufs d'incubation et de la présence du gène nain dont les mâles sont porteurs. Pour réduire les coûts de production des poulets à griller, il faudra avoir recours à la sélection génétique et modifier la conduite de l'élevage afin de diminuer la fréquence du syndrome de la mort subite et des malformations.

PROGRÈS GÉNÉRAUX ET PERSPECTIVES

J.S. Gavora

Bien que la situation varie considérablement entre les diverses espèces et les divers produits examinés précédemment, on constate, en examinant l'amélioration des animaux réalisée au cours des vingt dernières années et plus, qu'il s'est en général produit un changement dans les caractères visés par la sélection du rendement, la qualité du produit et la réduction des coûts.

Autrefois, on cherchait surtout à augmenter le rendement global par animal en augmentant le volume produit ou le taux de production (croissance). Depuis quelque temps, on s'attache plutôt à améliorer la qualité des produits; cette situation découle de l'apparition de systèmes de classement perfectionnés et d'une diversification du marché. Il n'y a guère longtemps que les éleveurs s'intéressent à des caractères liés à la réduction des coûts, comme la précocité sexuelle, la viabilité, la résistance aux maladies, ainsi que l'efficacité alimentaire. Au cours des dix dernières années, on a davantage cherché à atteindre un équilibre entre ces caractères, bien que le marché impose encore parfois une sélection d'un caractère donné.

L'examen des progrès réalisés jusqu'à présent montre par ailleurs que les éleveurs ont su modifier génétiquement tout caractère jugé important. Grâce à l'emploi de techniques génétiques appropriées, il a même été possible d'améliorer considérablement certains caractères à faible héritabilité, qui font souvent l'objet de variations génétiques observables et de variations environnementales encore plus grandes.

Les variations génétiques additives et non additives ont continué d'être utilisées avec succès dans l'amélioration des animaux. L'importance relative accordée à la sélection, qui utilise la variation génétique additive, et aux croisements, qui tirent parti de la variation génétique non additive, a varié d'une espèce à une autre. Le recours aux croisements s'est surtout limité aux bovins laitiers. On n'a pas encore trouvé de race bovine qui, croisée avec la race Holstein, produirait des descendants ayant des performances de production laitière concurrentielles dans des climats tempérés.

Aucun des efforts de sélection, y compris la sélection extrêmement intensive des poulets de chair, n'a laissé entrevoir de limites à la sélection en amélioration génétique des animaux. Cette constatation est encourageante pour l'avenir et concorde avec les conclusions formulées par Kennedy (1984), Fredeen (1984) et Hunton (1984), qui ont, respectivement, examiné les limites de la sélection des bovins laitiers, des porcins et des volailles. L'intuition nous porte généralement à supposer que de telles limites existent, parce que les expérimentations de sélection d'un caractère unique ont démontré l'existence de plateaux. Néanmoins, les limites de sélection ne semblent pas faire obstacle au progrès de l'amélioration génétique, en

particulier quand la sélection de caractères multiples est appliquée à des populations de taille suffisante.

Bien que la sélection n'ait pas atteint de limites, la sélection intensive de la rapidité de la croissance et de la conformation de la carcasse a entraîné une plus grande fréquence des troubles de développement, notamment de problèmes de plus en plus graves des muscles du squelette et des pattes.

Principaux facteurs

L'amélioration globale des animaux de ferme et des volailles continue de découler surtout de la sélection. L'utilisation de la consanguinité a été très limitée. On a eu recours aux croisements entre les races, souvent avec substitution de races et entre des souches ou des lignées d'une même race. Le recours de plus en plus généralisé à l'informatique et la progression rapide de la puissance des ordinateurs ont permis de traiter plus efficacement de grandes quantités de données provenant des élevages de bétail et de volailles, ainsi que de vérifier certaines prévisions théoriques à l'aide de simulations par ordinateur. L'emploi de bases génétiques synthétiques, surtout en aviculture, amène à abandonner le concept des races au profit des souches ou des lignées au sein d'un même type de production.

L'amélioration de l'efficacité de reproduction des espèces dont le taux de reproduction est lent a commencé à exercer une influence sur la reproduction des femelles, mais ses effets ne se font encore sentir qu'à une échelle limitée. L'augmentation du taux de reproduction des mâles grâce à l'insémination artificielle exerce, depuis qu'on a commencé à étudier cette question, il y a 30 ou 40 ans, une influence importante sur l'amélioration génétique.

L'utilisation de gènes importants comme marqueurs ou composants de caractères quantitatifs a eu des effets limités chez certaines espèces, mais cette méthode s'annonce prometteuse, notamment grâce à l'emploi des polymorphismes de l'ADN comme marqueurs.

Perspectives

Dans le domaine de la sélection classique, on peut s'attendre à une approche mieux équilibrée de la sélection pour caractères multiples. On utilisera de plus en plus de données de diverses provenances sur les caractères multiples de familles et d'individus, à mesure qu'il deviendra plus facile de disposer d'ordinateurs à capacité pratiquement illimitée. On aura plus souvent recours aux caractères marqueurs, en particulier dans le cas de caractères difficiles ou impossibles à mesurer directement. La manipulation de la reproduction, la génétique moléculaire et biochimique et le génie génétique offrent de nouvelles techniques qui seront graduellement

intégrées aux programmes d'amélioration du bétail. Dans les années à venir, la sélection visera surtout les divers caractères qui revêtent une plus grande importance physiologique pour l'espèce de même qu'une plus grande importance économique pour le producteur. Il est probable que l'on accordera plus d'importance à la sélection pour des caractères liés à la qualité des produits et à la réduction des coûts à mesure que les progrès concernant les caractères de rendement se stabiliseront.

Une plus grande sensibilisation des consommateurs ajoute une nouvelle dimension à la production animale, et l'opposition du public à l'emploi d'additifs et de produits chimiques, voire même à la vaccination et à l'emploi de médicaments, posera de nouveaux problèmes aux éleveurs.

Le bien-être des espèces animales, dont on n'a pas parlé jusqu'à présent, est une question qui demeurera d'actualité. On aura recours à l'amélioration génétique et à la modification du milieu pour résoudre les problèmes soulevés à cet égard, notamment quand les groupements d'intérêt adopteront des positions plus rationnelles (Beilharz, 1982).

RÉALISATIONS DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE EN AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE DES ANIMAUX

J.S. Gavora

Les divers secteurs de la recherche zootechnique abordés dans cette partie ont été choisis plus ou moins arbitrairement, de façon à présenter un ensemble de disciplines scientifiques bien définies et de domaines de recherche moins bien définis. L'examen des réalisations, passées et futures, de chaque discipline en amélioration génétique permettra au lecteur de saisir l'état des progrès dans chaque domaine. La génétique quantitative et statistique est examinée de façon plus détaillée que les autres disciplines, car elle se situe à la base de l'amélioration génétique moderne. Vient ensuite un examen du rôle joué par la génétique biochimique et physiologique. Bien que cette discipline n'ait contribué, jusqu'à ce jour, que de façon limitée aux progrès réalisés en amélioration génétique, on prévoit qu'à l'avenir elle sera fort utile car elle nous permettra de comprendre la structure et la fonction des gènes et des génomes, et ainsi elle contribuera directement à l'amélioration des animaux. La génétique de la résistance aux maladies fait l'objet d'un examen séparé, parce qu'il n'était pas facile de placer sous une autre rubrique ce sujet qui exige des connaissances en immunologie et en pathologie.

Cette étude traite également des effets génétiques des progrès réalisés en physiologie de la reproduction, non seulement en raison de la contribution de ce domaine de recherche à l'amélioration génétique, mais surtout en raison du rôle qu'il est appelé à jouer dans les années à venir. On s'attend que cette discipline influence de façon importante les progrès génétiques dans le domaine de l'élevage et qu'elle ait peut-être aussi un effet sur la structure entière du secteur de l'élevage. Enfin, la dernière partie de cette étude porte sur la génétique moléculaire. Jusqu'à présent, cette discipline n'a joué pratiquement aucun rôle dans l'amélioration génétique des animaux, mais son avenir, bien que difficile à saisir et à évaluer, est très prometteur.

Pour chaque domaine qui est traité, on décrit les effets passés et futurs. On présente également un résumé et une évaluation des interactions qui existent entre les diverses disciplines et les divers domaines de la recherche portant sur l'amélioration génétique des animaux.

GÉNÉTIQUE QUANTITATIVE ET STATISTIQUE

A.J. Lee

L'amélioration génétique des animaux est une science systémique qui englobe la génétique, la physiologie de la reproduction, la statistique, l'informatique et l'élevage; ces disciplines interagissent de façon intense, afin de maximiser l'amélioration génétique. Les principes de base de la sélection et de l'accouplement spécifique en vue de l'amélioration génétique remontent aux débuts de la domestication, mais Darwin (1860) fut le premier à les énoncer de façon systématique. Le recours à certaines pratiques telles que le contrôle sur descendance, l'utilisation modérée de la consanguinité, l'enregistrement des performances et l'emploi de méthodes statistiques qui ne se fondaient pas sur des notions de génétique, (Galton, 1897; Pearson, 1897, 1902; Pearson et Lee, 1903) a précédé la redécouverte des travaux de Mendel. En tant que science appliquée, bien que sans véritable fondement génétique, l'amélioration génétique était donc établie bien avant le début du siècle.

Fisher (1918) et Wright (1921) furent les premiers à formuler les principes de la génétique quantitative à partir des caractères héréditaires mendéliens, et à définir explicitement des méthodes permettant de mesurer la consanguinité et les liens génétiques. Le thème de l'analyse statistique fut renforcé par les idées de Fisher (1925) et de Yates (1934). En Iowa, Lush (1937) et ses étudiants cherchèrent à utiliser des principes simples de génétique quantitative et de statistique, ainsi que les connaissances acquises en matière d'élevage pour établir des programmes d'amélioration génétique reposant sur l'enregistrement des performances, la correction des données pour les facteurs systématiques non génétiques, l'évaluation et leur sélection des productions.

Évolution récente

Génétique quantitative Le concept, formulé par Malécot en 1948, de l'identité par ascendance des gènes individuels et multiples au même locus ou dans des loci différents a permis de diviser en plusieurs parties constitutives les liens épistatiques entre individus. En 1954, ces travaux ont été suivis par la décomposition de la variance génétique en différents effets épistatiques (Cockerham, 1954; Anderson et Kempthorne, 1954; Kempthorne, 1954). Les ouvrages de Kempthorne (1957) et de Falconer (1960) donnent un excellent résumé des connaissances de l'époque. Cette démarche a été étendue à la covariance génétique entre les caractères, par Mode et Robinson (1959), et aux apparentés consanguins, par Harris (1964).

Par la suite, Willham (1963, 1972) a formulé des théories permettant d'examiner les effets maternels hérités, ce qui s'inscrivait dans le prolongement des travaux de Dickerson (1947). Cette

décomposition de la variance et de la covariance génétiques a permis de mieux comprendre l'hétérosis, c'est-à-dire la vigueur hybride des sujets croisés et l'absence d'aptitudes semblables chez les sujets issus de croisements réciproques. Toutefois, on s'est peu intéressé à l'application des principes de la génétique quantitative, à l'hérédité non mendélienne, qui pourrait se manifester au niveau de l'ADN ou de l'ARN transmise par voie cytoplasmique.

Au moment même où Hazel et Lamoreaux (1947), ainsi que Comstock et Robinson (1948), évaluaient l'importance des effets correspondant à des accouplements spécifiques tout en éliminant les interactions environnementales et celles du milieu avec le génotype, Crow (1948) examinait le fondement théorique de la vigueur hybride du point de vue de la dominance et de la superdominance. Presque en même temps, Comstock et coll. (1949) proposaient le recours à la sélection récurrente réciproque, de façon à utiliser à la fois les aptitudes générales et spécifiques à la combinaison, aux fins de l'amélioration génétique. L'ouvrage *Heterosis*, compilé par Gowen (1952), réunit un grand nombre des travaux théoriques et appliqués sur l'estimation et l'utilisation de la vigueur hybride, soit l'hétérosis ou les aptitudes spécifiques à la combinaison, chez les végétaux et chez les animaux. Dans cet ouvrage, Henderson semble être le premier à considérer les lignées comme étant des effets aléatoires plutôt que fixes dans le modèle statistique. Bradford et coll. (1958) ont présenté un examen détaillé de résultats ultérieurs obtenus chez les porcins. Les croisements diallèles ont été examinés par Mather (1949), Hayman (1954, 1958, 1960) et Griffing (1956). Lerner (1950, 1954, 1958) a présenté un vaste exposé de la sélection, de l'amélioration des espèces animales et du rôle d'un organisme intégré et biologiquement interactif dans l'évolution.

Méthodologie statistique Les progrès de la théorie et des méthodes statistiques ont eu de profonds effets sur l'amélioration génétique des animaux. Hazel (1946) a étendu à la covariance l'analyse des données non équilibrées mise au point par Yates. Peu après l'exposé de Crump (1951) sur l'analyse des composantes de la variance, Henderson (1953) a proposé trois méthodes permettant d'estimer les composantes de la variance et de la covariance. L'emploi de ces méthodes pour estimer la variance ou la covariance paternelle et, par conséquent, l'héritabilité ou la corrélation génétique, a permis d'estimer les paramètres exigés pour l'établissement d'indices de sélection.

Plus tard, certains auteurs comme Searle, Henderson, Corbeil, Thompson, C.R. Rao, J.N.K. Rao, Harley et Hemmerle ont formulé la méthode de l'estimateur sans biais quadratique (BQUE), la méthode du maximum restreint de vraisemblance (REML) et la méthode du maximum de vraisemblance (ML). Harville, (1977) a présenté un examen détaillé et concis de ces méthodes et a fourni une excellente explication des liens qui existent entre les différentes formulations et procédures pour le modèle mixte à deux facteurs (Harville, 1978).

Curnow (1961) et Thompson (1973) ont examiné les méthodes servant à estimer les composants de la variance quand l'élimination génétique est pratiquée. Hill et Nicholas (1974) ainsi que Thompson (1976) ont examiné de la même façon les méthodes permettant d'estimer les effets maternels, à partir des données obtenues chez les parents et les descendants. Au cours des dernières années, Schaeffer et coll. (1978) ainsi que Schaeffer (1981), entre autres, ont perfectionné les méthodes BQUE, REML et ML pour les adapter à des applications particulières. Le principal problème qui reste à résoudre consiste à trouver des simplifications algébriques pour rendre le calcul possible même dans le cas, fréquent en amélioration génétique, où l'on doit analyser un très grand nombre de données avec un modèle déséquilibré et à plusieurs variables.

Sélection Smith (1936) a tout d'abord appliqué l'analyse linéaire discriminante de Fisher à la sélection végétale. Hazel et Lush (1942) ont ensuite démontré que cette analyse ou la méthode des indices de sélection étaient supérieures à la sélection en tandem ou à la sélection reposant sur des taux d'élimination indépendants pour l'amélioration génétique d'une combinaison linéaire connue de caractères. Hazel (1943) a établi le fondement génétique des indices de sélection qui, jusqu'alors, étaient considérés essentiellement comme un outil statistique. Lush (1947) a utilisé la méthode des indices de sélection pour évaluer l'importance relative des performances d'un sujet dans la sélection, ainsi que pour évaluer l'importance des performances des sujets apparentés. Cochran (1951) a formulé les bases statistiques des indices de sélection. Henderson et ses collègues (1959) ont montré qu'on pouvait obtenir des indices de sélection ajustés en fonction des effets systématiques du milieu, en résolvant les équations normales des moindres carrés, après une simple modification. Ces équations modifiées des moindres carrés constituent aujourd'hui un moyen de calcul commode pour l'estimation des composantes de la variance et de la covariance à l'aide des méthodes BQUE, REML et ML mentionnées précédemment. Henderson (1963) a démontré que les indices de sélection sont appropriés, du moins pour le classement, quand on dispose de quantités différentes de données sur les sujets à évaluer.

Kempthorne et Nordskog (1959) ont été les premiers à envisager des indices de sélection visant à améliorer une combinaison linéaire de caractères tout en maintenant constant le niveau génétique d'un ou de plusieurs autres caractères. Harville (1974) a donné un exposé détaillé des méthodes de sélection qui imposent des contraintes à la réponse désirée dans un ou plusieurs caractères. Van Vleck (1970, 1976) a mis au point des méthodes de sélection sur indice permettant de tenir compte des effets génétiques ou de milieu correspondant aux mères et grand-mères maternelles des sujets sélectionnés. Henderson (1975*a*) et Thompson (1979) ont examiné en détail les méthodes de sélection sur indice là où les données sont influencées par l'élimination génétique. Jusqu'à ce moment-là, la plupart des

méthodes utilisées portaient soit sur des caractères multiples sans modèle de classification, soit sur un seul caractère dans un modèle complexe.

Des modèles statistiques de structure complexe traitant de caractères multiples ont été identifiés par Henderson (1973) et ont été étudiés plus en détail par Henderson et Quaas (1976). Lee (1979) a procédé à une simplification des indices de sélection avec caractères multiples dans le cas de modèles complexes, qui peut être utilisée quand tous les caractères sont mesurés pour chaque sujet et quand le même modèle de classification s'applique à tous les caractères. Hayes et Hill (1980) ont proposé une transformation canonique des variables pour l'évaluation de caractères multiples dans les modèles simples. Par la suite, Foulley et coll. (1982) ainsi que Lee (1983) ont, de façon indépendante et simultanée, appliqué cette méthode à des modèles complexes. L'évaluation de caractères multiples dans des modèles complexes a été utilisée sur une assez grande échelle dans le cas des bovins de boucherie, à commencer par les travaux de Schaeffer et Wilton (1975) et de Schaeffer et coll. (1980).

L'utilisation de fonctions appropriées des caractères ou de la pondération économique des caractères a fait l'objet d'un certain intérêt, notamment dans l'élevage des bovins de boucherie. Cartwright et coll. (1975), ainsi que Wilton et Morris (1976), ont étudié l'influence de la conduite du troupeau et des facteurs génétiques dans des modèles économiques, en utilisant la programmation linéaire. Wilton (1982) a étudié l'emploi d'évaluations génétiques basées sur plusieurs caractères dans des modèles de programmation linéaire servant à évaluer les rendements économiques.

Avant 1975, il était difficile d'inclure dans les indices de sélection les liens de parenté entre pères ou entre individus, parce qu'on avait besoin de l'inverse de la matrice d'apparentement. Henderson (1975*b*, 1976) a mis au point un moyen rapide et facile de calculer l'inverse de cette matrice, en partant de la décomposition triangulaire d'une matrice symétrique (méthode de Cholesky). Cette importante découverte permet d'utiliser les liens de parenté dans les indices de sélection et dans l'estimation des composantes de variance et de covariance dans le cas des grandes populations. Avant cela, on considérait que tous les géniteurs évalués n'avaient aucun lien de parenté, même si certains étaient les fils, les petits-fils ou les demi-frères de certains autres. Le principal problème qui se pose aujourd'hui consiste à trouver des méthodes efficaces de calcul pour utiliser des indices de sélection basés sur le modèle mixte à plusieurs caractères quand tous les caractères n'ont pas été mesurés sur chaque individu en raison de la sélection ou de l'élimination génétique.

Aucune des méthodes statistiques mises au point au cours des 20 dernières années ne serait de la moindre utilité pour l'amélioration génétique, n'eût été de l'amélioration de la capacité, de la rapidité et du coût des ordinateurs. Il faut résoudre simultanément des centaines ou des milliers d'équations à autant d'inconnues pour obtenir les

évaluations nationales ou régionales des taureaux et vaches laitiers de boucherie. Les progrès réalisés en statistique et en informatique ont donc joué un rôle important dans l'utilisation efficace de la génétique quantitative pour l'amélioration des espèces animales.

Plans d'accouplement Les méthodes servant à estimer les paramètres génétiques et à provoquer et mesurer l'amélioration génétique ont, elles aussi, connu de grands progrès. Dickerson et Hazel (1944) ont examiné le contrôle sur descendance, tandis que Dempster et Lerner (1947) ont examiné des plans d'amélioration génétique des volailles qui font appel à des données sur les frères et soeurs ou demi-frères et demi-soeurs. Polge et coll. (1949) ont découvert qu'il était possible de congeler la semence de bovin, et cette découverte a permis de contrôler les performances de la descendance chez les bovins sur une bien plus grande échelle que cela n'avait été possible auparavant. L'équilibre optimal entre le nombre de taureaux à inclure dans un contrôle de la descendance, le nombre de descendants contrôlés par taureau et l'intensité de la sélection a été examiné en détail (Robertson et Rendel, 1950; Robertson, 1957; Rendel, 1959; van Vleck, 1964). Skjervold (1963), de même que Skjervold et Langholz (1964), ont envisagé des plans semblables pour des populations plus réduites. Ils sont arrivés à la conclusion que l'utilisation sur une grande échelle de jeunes taureaux sélectionnés sur ascendance et issus surtout de taureaux évalués sur descendance augmenterait le taux d'amélioration génétique bien plus que ne le feraient les solutions proposées par van Vleck (1964) pour de très grandes populations. Hill (1971*a*) a été le premier à examiner les effets de la chronologie des décisions de sélection et des taux d'intérêt sur la rentabilité des programmes d'amélioration génétique. Hudson et coll. (1980) ont étudié divers schémas permettant d'évaluer le poids au sevrage et la facilité de vêlage de la descendance chez les bovins de boucherie. Depuis la mise au point des techniques de transplantation embryonnaire, on peut utiliser sur une grande échelle les embryons de parents hautement sélectionnés. Nicholas et Smith (1983) ont indiqué certaines des possibilités que ces méthodes offrent pour un meilleur taux d'amélioration génétique.

Robertson (1959) a mis au point des expériences visant à obtenir un nombre optimal de descendants dans le but d'estimer les corrélations génétiques. Hill (1971*b*) a par la suite généralisé l'utilisation de ces techniques. Hill et Thompson (1977) ont envisagé des schémas de sélection où les données sur les parents et leurs descendants servent à la fois à sélectionner les parents. Ces travaux représentent le lien entre l'étude des schémas expérimentaux, la génétique quantitative et l'analyse des données.

Gowe et coll. (1959) ont donné une définition claire du fondement théorique des souches témoins sélectionnées de façon aléatoire et ont décrit l'application pratique de cette théorie dans le cas des volailles. Cette technique permet de mesurer avec précision les effets du milieu pour n'importe quel nombre de caractères, sur de longues périodes de

temps, sans qu'il soit nécessaire de conserver les parents pendant plus d'une génération. Il est alors possible de mesurer l'évolution génétique de lignées sélectionnées élevées dans le même milieu, en fonction de l'écart par rapport au lot témoin. Cette technique a été largement utilisée en aviculture et dans l'élevage des animaux de laboratoire, et a parfois été appliquée à de plus gros animaux. Hill (1972*a*,*b*) a examiné en détail l'utilité de l'estimation des héritabilités réalisées et des corrélations génétiques à partir de sélections unidirectionnelles ou divergentes. Goodwin et coll. (1959) ont examiné l'emploi de l'accouplement successif, où les parents sont retenus pour la reproduction sur deux générations ou plus. Les différences de performances entre les descendants issus de mêmes parents en des années successives permettent de mesurer l'évolution du milieu et fournissent une base pour évaluer l'évolution génétique. Hickman et Freeman (1968) ont développé cette approche dans le but de mettre au point une méthode pratique permettant de provoquer et de mesurer une évolution génétique dans les populations où les générations se chevauchent, en particulier chez les bovins laitiers. Ces perfectionnements des méthodes d'accouplement et de sélection ont fortement contribué à accélérer l'amélioration génétique et à la mesurer avec précision.

Situation actuelle

Aujourd'hui, le domaine de l'amélioration génétique des animaux ressemble un peu à un puzzle partiellement terminé. Les bords et une grande partie d'un coin sont en place, et plusieurs autres groupes de pièces ont été assemblées, mais personne n'est encore parvenu à tout relier. À quelques exceptions près, la sélection d'un caractère ou de quelques caractères a donné d'excellents résultats, en supposant qu'il s'agisse surtout d'effets génétiques additifs. Cette réussite est généralement caractéristique des pratiques d'amélioration génétique. Dans toutes les espèces, on dispose d'un grand nombre d'estimations de l'héritabilité d'une variété de caractères importants ou potentiellement importants et de leurs corrélations génétiques.

Peu d'auteurs, s'il en est, ont pu entreprendre une analyse complète en variables multiples des caractères importants. On a eu recours aux croisements, principalement chez les animaux de boucherie et en aviculture, pour tirer parti de l'effet d'hétérosis et des principales différences génétiques additives entre les races ou les souches. Peu d'études ont examiné l'utilisation conjointe de la sélection et des croisements en vue de maximiser le potentiel génétique de productivité. Une exception qu'il convient de mentionner est le Projet coopératif national d'amélioration génétique des bovins laitiers au Canada (McAllister et coll., 1978). On a découvert quelques gènes importants qui influencent des caractères d'intérêt économique, comme ceux qui déterminent le nanisme chez les bovins de boucherie et les volailles, le caractère culard chez les

bovins de boucherie et le syndrome du stress chez les porcs. Plusieurs défauts génétiques comme la syndactylie et l'ostéoporose ont été examinés en détail, notamment par Huston et Leipold au Kansas (Leipold, 1986). Toutefois, chacun de ces défauts est généralement traité comme un problème ne concernant qu'un seul locus et qu'il faut éliminer pendant que l'on poursuit la sélection.

Les techniques de transplantation et d'entreposage des embryons, ainsi que d'autres nouvelles techniques dans le domaine de la reproduction, qui seront discutées plus loin, enregistrent des progrès rapides et pourraient bientôt devenir rentables sur une grande échelle. Ces techniques offrent de nombreuses possibilités dans le domaine de la recherche en amélioration génétique des animaux, en particulier pour les espèces à faible taux de reproduction. Nous ignorons presque tout des fondements biologiques des différences génétiques des principaux caractères de production comme la croissance, la production de lait ou la production d'oeufs. Malgré les importants progrès réalisés en amélioration génétique au cours des dernières années, nos connaissances restent encore très limitées dans de nombreux domaines.

L'avenir

Au cours des 25 prochaines années, l'amélioration génétique des animaux devrait progresser dans plusieurs domaines. La réponse à un grand nombre de questions comme celle du fondement biologique des principales différences dans les caractères quantitatifs ne pourra être trouvée qu'à l'aide d'expériences génétiques bien conçues réalisées sur des animaux plutôt qu'à l'aide d'une analyse statistique détaillée des données recueillies sur le terrain. Les progrès des méthodes statistiques et de l'informatique continueront de jouer un rôle important dans l'analyse des données et l'évaluation génétique de grandes populations. Toutefois, on accordera plus d'importance aux analyses détaillées à variables multiples qu'aux analyses à une ou deux variables, qui sont les plus courantes aujourd'hui. Il deviendra plus facile et plus rentable de recueillir et d'entreposer de grands nombres d'embryons provenant d'accouplements spécifiques chez des espèces à faible taux de reproduction. Il deviendra également plus facile de poursuivre des recherches génétiques sur les bovins pour examiner les effets génétiques maternels et non additifs.

Les recherches sur les méthodes d'amélioration génétique auront recours à tous les progrès réalisés à ce jour pour dresser des schémas de sélection et d'accouplement qui sauront tirer le plus grand parti de la variance génétique additive et non additive dans la sélection de la productivité globale, en tenant compte de tous les caractères d'importance économique. Pour atteindre ce but, il faudra mieux comprendre l'évaluation économique des systèmes d'élevage des animaux de ferme. Un grand nombre de ces démarches sont comprises dans le Projet coopératif national d'amélioration génétique des bovins

laitiers d'Agriculture Canada (McAllister et coll., 1978). Dans l'ensemble, cette approche globale fera davantage appel à la génétique quantitative que par le passé.

Il deviendra essentiel d'avoir recours à l'analyse statistique avancée et aux modèles économiques, et d'avoir une connaissance étendue des interactions entre les génotypes et les programmes de conduite des animaux (analyse systémique). Il faudra évaluer de près, dans le contexte voulu, les nouvelles possibilités que présente l'évolution rapide des techniques de reproduction. On intégrera davantage la génétique, la statistique, l'informatique, l'élevage et les techniques de reproduction pour mettre au point des programmes optimaux d'amélioration génétique appliquée.

Un des principaux buts visés pourrait être la découverte du fondement biologique des différences génétiques entre souches et groupes de géniteurs pour les principaux caractères de production. Bien que nous connaissions les processus biochimiques de la digestion et de l'absorption des aliments et de leur conversion en muscle, en lait, en laine ou en oeufs, nous ignorons presque tout des mécanismes qui déterminent le taux et les limites de conversion et qui déterminent donc les différences dans la productivité. Pour bien s'attaquer à ce problème, il faudra constituer des équipes de chercheurs qui seront chargés d'étudier la régulation génétique des systèmes biochimiques et physiologiques, systèmes qui varient fortement entre les animaux d'une même espèce et chez un même animal avec l'âge. Il est probable que ces systèmes de régulation soient complexes et fortement interactifs, tout comme le sont les voies du métabolisme de base. Par conséquent, pour établir la nature exacte du système de régulation, il pourrait être très important de connaître à fond les méthodes statistiques modernes utilisées en génétique quantitative et les techniques de génétique biochimique et moléculaire. Une fois que l'on aura une compréhension suffisante de ces systèmes biologiques, il deviendra peut-être possible, à la longue, d'appliquer les techniques de génie génétique à l'amélioration du potentiel génétique des animaux de ferme.

Il existe un paradoxe intéressant en zootechnie : une grande partie des variations génétiques observées à l'égard des caractères de production quantitatifs sont additives, alors que presque toutes les voies biochimiques pertinentes du métabolisme et leur contrôle endocrinien sont fortement interactifs. Il faudrait mener des recherches de toute urgence pour expliquer cette contradiction apparente. La collaboration entre les experts de la génétique quantitative et ceux de la génétique physiologique et moléculaire pourrait également contribuer à améliorer notre compréhension de l'organisation du génome en général. Il faut commencer ces recherches dès maintenant afin que l'on puisse jeter les fondations d'une amélioration génétique importante des animaux de ferme au 21e siècle.

GÉNÉTIQUE BIOCHIMIQUE ET PHYSIOLOGIQUE

A.A. Grunder

L'amélioration des caractères d'importance économique chez les animaux a été abordée surtout dans une optique quantitative empirique et statistique. Comme nous l'avons vu, un grand nombre de progrès ont été réalisés. Néanmoins, les éleveurs se rendent compte depuis quelques années que la régulation génétique des caractères de production repose sur un support moléculaire. Ils commencent à considérer les possibilités d'intégrer les données de la génétique biochimique et physiologique aux programmes de sélection. La découverte de variations héréditaires dans les groupes sanguins chez les bovins (Stormont et coll., 1945) et chez les poulets (Briles, 1949) a intéressé les éleveurs au plus haut point, parce qu'ils pourraient utiliser une telle variation génétique pour procéder à l'amélioration des animaux.

L'étude qui suit examine les caractères biochimiques et physiologiques à régulation génétique qui sont assignés avec certaines différences dans les aptitudes de production et elle établit des prédictions concernant le rôle que la génétique physiologique sera appelée à jouer en amélioration génétique des animaux. L'espace restreint, plutôt que le manque d'importance, limite le nombre de groupes sanguins et de polymorphismes des protéines et des enzymes qui sont examinés ici.

Caractères physiologiques soumis à une régulation génétique et production

La découverte des divers groupes sanguins chez les animaux a été suivie par l'étude des liens qui existent entre leurs génotypes et la productivité. Briles et Allen (1961) ont observé que le taux de production des oeufs était influencé par les génotypes du groupe sanguin *B* dans trois de sept lignées consanguines étudiées et que l'homozygotie était associée à un taux inférieur de ponte. Dans une étude de la race Frisonne Pie Noire, Kraay (1968) a constaté que les fréquences alléliques variaient entre les taureaux et les vaches pour les systèmes de groupes sanguins *A* et *F-V*, et a émis l'hypothèse que ces différences étaient attribuables à la sélection. Malgré ces associations entre la production et les groupes sanguins, on ne se base pas directement sur les groupes sanguins dans les programmes de sélection visant à améliorer la production. Ces liens sont trop faibles pour offrir un potentiel d'amélioration significatif comparativement au potentiel des méthodes classiques de sélection.

Grâce à la mise au point de l'électrophorèse de zone par Smithies (1955), qui voulait expliquer la variation génétique dans les haptoglobines chez les humains, un grand nombre de polymorphismes protéiniques non enzymatiques ont été découverts chez les animaux de

ferme et les volailles depuis les travaux d'Ashton (1957) sur les transferrines des bovins et ceux de Kristjansson (1961) sur les hémopexines des porcins. Comme dans le cas des travaux sur les groupes sanguins, les chercheurs ont tenté de trouver des liens entre les polymorphismes protéiniques et la production. Par exemple, Ashton et Hewetson (1969) ont étudié les rapports entre les transferrines et la production laitière chez les bovins, tandis que Rahman et Konuk (1977) ont étudié les liens entre les transferrines et le gain pondéral chez les ovins. Les constatations présentées par Rashid (1982) dans un récent rapport portant sur les effets des ovotransferrines sur les caractères d'intérêt économique des volailles sont typiques. Il n'a trouvé aucune corrélation entre les génotypes de transferrine et l'âge de la maturité sexuelle, et n'a observé aucun effet additif sur le nombre et le poids des oeufs. Par contre, il a trouvé que l'allèle Tf^{B} était associé à un poids corporel supérieur à celui qui correspond à l'allèle Tf^{A}. On n'utilise pas les polymorphismes des protéines non enzymatiques pour améliorer les caractères de production.

L'étude des liens qui existent entre les protéines enzymatiques et la production n'a pas été plus encourageante que l'examen des polymorphismes des protéines. Dans une thèse de Mina (1978) citée par Sheldon (1980), des recherches bibliographiques en aviculture ont permis de constater les liens suivants entre les loci des allozymes et les caractères de production : quatre loci sont liés à la mortalité embryonnaire, cinq à la production d'oeufs, trois au poids des oeufs, deux à la viabilité, un au poids corporel et un à la fécondité. Toutefois, pour chacun de ces caractères sauf la mortalité embryonnaire, d'autres études ont indiqué qu'il n'existait aucun lien significatif entre trois à six des loci en question et le caractère. Ces contradictions sont illustrées par les résultats des travaux de Grunder et Merritt (1977), qui ont examiné les liens entre une estérase sérique polymorphique et les caractères de souches de poulets de chair. Après avoir comparé entre eux des caractères déterminés par divers génotypes, ils ont trouvé que cinq seulement des 106 comparaisons étaient significatives, c'est-à-dire le même nombre environ que l'on pourrait attribuer au hasard. Par conséquent, malgré leur fonction biologique avérée et définie, les polymorphismes enzymatiques ne sont pas utilisés comme base de sélection pour la production.

Un grand nombre d'experts en aviculture et de chercheurs qui s'intéressent aux animaux de laboratoire ont sélectionné certaines lignées en visant un caractère physiologique donné. Ces lignées les aident à mieux comprendre les aspects génétiques et biochimiques du caractère en question. Sheldon (1980) a dressé la liste d'un grand nombre de ces lignées chez les volailles et a émis l'hypothèse que la sélection permettrait de modifier pour ainsi dire n'importe quel caractère. Certaines études ont également cherché à identifier les changements physiologiques qui se produisent quand on soumet des lignées à une sélection divergente pour des caractères liés à la production. L'étude qui suit en est un exemple.

Des lignées de poulets Leghorn ont été sélectionnées pour un pourcentage élevé (THK) et faible (THN) de coquille d'oeuf (Buss et coll., 1977). Clagett et coll. (1977) ont montré que chez les poules de la lignée THK, le taux de calcium sérique total était plus élevé, bien que leurs déjections contenaient moins de calcium total que chez les poules de la lignée THN. Sachant que la vitellogénine est le principal facteur qui détermine la fixation du calcium dans le plasma (Deeley et coll., 1975), Grunder et coll. (1980) ont trouvé davantage de vitellogénine dans le sérum de la lignée THK que dans celui de la lignée THN. De plus, après une injection intramusculaire de benzoate d'oestradiol, les poules de la lignée THK ont montré une plus forte augmentation de calcium non diffusible dans le plasma, ainsi qu'une plus grande fixation du calcium par la vitellogénine que les poules de la lignée THN.

Toutes les souches qui diffèrent entre elles quant aux caractères de production ont probablement des caractères physiologiques différents. Dans la mesure où les gènes pléiotropiques déterminent les deux types de caractères, la connaissance des phénotypes physiologiques, faciles à mesurer, devrait s'avérer utile comme moyen indirect de sélection pour les caractères de production.

La résistance aux maladies et la génétique physiologique

On admet depuis un certain temps (Gilmour, 1954) l'existence d'un lien entre le système du groupe sanguin *B* et la viabilité chez les poulets. La découverte de la relation qui existe entre le groupe sanguin *B* et le système immunitaire (Schierman et Nordskog, 1961; Craig et McDermid, 1963), relation qui a été reconnue comme étant le principal système d'histocompatibilité des volailles, pourrait expliquer cette association. Hansen et coll. (1967) ont signalé que la mortalité des descendants de groupe B^{21} était environ deux fois moins élevée que celle des descendants de groupe B^{19}. Depuis, le lien entre les allèles de locus *B* et la résistance à la maladie de Marek a été bien documenté (Longenecker et coll., 1976; Briles et coll., 1977; Okada et coll., 1977), et on s'est servi de ce caractère pour éliminer par sélection les sujets susceptibles à cette maladie. Il s'agit peut-être du seul exemple de caractère génétique bien compris qui soit utilisé par les éleveurs dans la sélection indirecte visant la prédisposition à une maladie.

Le lien entre le système du groupe sanguin *R* et la résistance à la leucose lymphoïde chez les poulets a été étudié. Crittenden et coll. (1970) ont associé la présence d'antigène *R* sur les globules rouges à la susceptibilité aux virus de sous-groupe *B*.

Tel que mentionné précédemment, le syndrome du stress des porcins se caractérise par la mort subite des porcins soumis au stress, le plus souvent causé par l'effort physique. Rasmusen et Christian (1976) ont montré que deux génotypes du système du groupe sanguin *H* sont associés à la prédisposition à ce syndrome, tandis que trois

génotypes au moins sont associés à l'absence du syndrome. On a vu, dans la section sur les porcins, que le système du groupe sanguin *H* et le système de la phosphohexose isomérase peuvent contribuer à améliorer la qualité de la viande (cote de couleur) (Andresen et coll., 1979). On pourrait donc se baser sur ce système des groupes sanguins et sur le polymorphisme des enzymes pour éliminer du troupeau de reproduction les sujets indésirables.

Les gènes qui contrôlent les antigènes lymphocytaires chez la souris et chez l'homme interviennent dans les mécanismes immunitaires et pourraient jouer un rôle semblable chez le bétail. En fait, on a découvert des antigènes lymphocytaires contrôlés par des allèles multiples à divers loci chez les bovins (Caldwell et coll., 1977), les ovins (Millot, 1978), les porcins (Vaiman et coll., 1970) et les chevaux (Lazary et coll., 1980). Comme dans le cas des antigènes des groupes sanguins, les chercheurs ont tenté de trouver des liens entre ces antigènes à régulation génétique et des caractères d'intérêt économique, principalement ceux qui se rapportent aux maladies. Des indices de tels liens ont été découverts chez les bovins atteints de carcinome oculaire (Caldwell et Cumberland, 1978), de lymphosarcome (Bortolozzi et Hines, 1982) et de mammite (Solbu et coll., 1982). Les liens qui existent entre les antigènes lymphocytaires des ovins et la tremblante du mouton sont mentionnés dans la section sur la génétique de la résistance aux maladies. On a vu, par ailleurs, que les antigènes lymphocytaires des porcins sont associés aux performances pour des caractères d'importance économique. Ce type de recherche, notamment sur les liens entre les antigènes lymphocytaires et la résistance du bétail aux maladies, est très prometteur.

Une maladie des muscles des poulets et dindons de chair, appelée myopathie dégénérative du *Musculus supracoracoideus* (maladie du muscle vert), pourrait être attribuée au stress (Siller et coll., 1979; Dickinson et coll., 1968). Harper et coll. (1975) ont montré que la susceptibilité des dindons à cette maladie est contrôlée par des gènes multiples et que la maladie frappe surtout les sujets adultes. Siller et coll. (1979) ont montré que la maladie du muscle vert peut être provoquée par l'exercice des ailes. Dans des études sur les taux de créatine-phosphokinase (CK) dans le plasma des dindons, Hollands et coll. (1981) ont montré que les taux de CK entre 4 et 6 jours après l'exercice étaient bien plus élevés chez les sujets où la maladie du muscle vert avait été provoquée que chez les sujets non atteints de la maladie. Hollands et coll. (1986) ont estimé que l'incidence de la maladie du muscle vert chez les poulets avait une héritabilité de 0,48. On peut identifier et éliminer les sujets susceptibles à cette maladie en exerçant les ailes et en mesurant le taux plasmatique de CK.

L'avenir

Le nombre de systèmes de groupes sanguins, de protéines et d'enzymes contrôlés génétiquement est immense chez les volailles et

le bétail, et il convient de se demander comment on peut s'en servir pour améliorer l'efficacité de la production. On continuera à s'en servir pour vérifier la généalogie, tant que cela sera jugé important dans le cas des bovins (Stormont, 1951), des chevaux (Stormont et Suzuki, 1965) et d'autres types d'animaux de ferme, ainsi que pour vérifier la lignée des poulets (Briles, 1960). La production optimale de viande, de lait, d'oeufs, de laine et de duvet continuera de dépendre de programmes de conceptions diverses permettant la sélection simultanée de caractères multiples. L'utilisation des polymorphismes génétiques pour la sélection indirecte dépendra d'une analyse de rentabilité ou d'une évaluation comme celle qu'a proposée Dickerson (1976). Il a été question précédemment de l'amélioration de la qualité de la viande grâce à la sélection sur le système du groupe sanguin *H* et sur la phosphohexose isomérase chez les porcins. Contrairement à ce qui se passe chez l'homme, certains polymorphismes qui diminuent l'état de santé des animaux, par exemple la carence en riboflavine chez le poulet (Maw, 1954), sont rapidement perdus. Ce genre de données s'appliquent donc davantage à la médecine humaine qu'à l'amélioration génétique des animaux.

La génétique physiologique trouvera d'importantes applications dans la sélection visant la résistance aux maladies. Il est évident que les éleveurs ne désirent pas exposer leurs précieuses souches de reproduction à des agents pathogènes. On continuera donc à utiliser le système du groupe sanguin *B* dans la sélection contre la maladie de Marek des poulets. Il faudrait s'efforcer de trouver d'autres marqueurs indirects ou d'autres caractères génétiques physiologiques que l'on pourrait utiliser dans les programmes de sélection contre la susceptibilité aux maladies infectieuses. Il est probable que l'on puisse réduire la fréquence des maladies porcines et aviaires causées par le stress en tirant parti des données sur les paramètres physiologiques corrélatifs. De telles données devraient être utilisées notamment pour la sélection d'animaux dans le cadre de programmes d'insémination artificielle ou de lignées paternelles à sélection intense.

Certains chercheurs ont avancé qu'il faudrait rechercher des polymorphismes dans d'autres tissus que les tissus sanguins très facilement accessibles. Robertson (1966) a proposé que l'on étudie les tissus à forte activité de synthèse comme le foie ou la glande mammaire. Lewontin (1978) a proposé que les éleveurs étudient les gènes régulateurs plutôt que les gènes de structure, afin de pouvoir utiliser les variations biochimiques pour prédire les résultats de la sélection artificielle (et naturelle). On suppose que ce sont des gènes de structure qui déterminent les variations dans les groupes sanguins, les protéines et les enzymes, variations qui dépendent des loci des principaux gènes. Les gènes régulateurs sont probablement à l'origine des variations physiologiques dans les niveaux d'hormones et d'enzymes. Comme la plupart des caractères de production sont quantitatifs, on peut se baser sur la variation des produits de gènes régulateurs pour prédire les aptitudes de production. Il faudra rechercher ces variations dans d'autres tissus que le sang.

Grâce à la recherche de caractères ou de marqueurs servant directement ou indirectement à l'amélioration génétique des animaux de ferme et des volailles, la génétique biochimique et physiologique devrait contribuer à expliquer de nombreux phénomènes génétiques et épigénétiques. Un élargissement des connaissances dans ce domaine permettrait de combler les grandes lacunes qui existent actuellement dans la connaissance des phénomènes et des concepts dont traitent la génétique moléculaire et la génétique quantitative.

GÉNÉTIQUE DE LA RÉSISTANCE AUX MALADIES

J.S. Gavora

Les maladies peuvent se classer en trois grandes catégories : les maladies génétiques, telles que les troubles du développement, les troubles métaboliques et physiologiques, les maladies infectieuses et les maladies se rapportant au stress. La première catégorie a été traitée précédemment, du moins en partie. Au nombre des troubles génétiques, citons, chez les porcins, la myopathie exsudative dépigmentaire et le syndrome de la mort subite, et, chez le dindon et le poulet, la myopathie dégénérative, dont on a déjà parlé. La sélection extrême pour un taux élevé de croissance et pour la conformation, pratiquée surtout sur les poulets à griller, les dindons et les porcins, semble donner lieu à des problèmes de développement et des problèmes physiologiques dont ces troubles constituent des exemples. Par ailleurs, on observe de plus en plus souvent, chez les animaux du type à viande, certains problèmes morphologiques, tels que les syndromes généralement appelés difficultés locomotrices ainsi qu'une diminution des aptitudes de reproduction. La solution à ces problèmes réside probablement dans le rétablissement de l'équilibre physiologique chez ces animaux, grâce à une sélection pour caractères multiples d'importance physiologique et économique. Malheureusement, le jeu de la concurrence oblige souvent les éleveurs à continuer de sélectionner un ou deux caractères d'intérêt économique, ce qui perpétue et aggrave le problème. Bien que l'on retrouve un certain nombre d'autres troubles génétiques de ce genre chez les animaux domestiques et les volailles (Mulvihill, 1972), il s'agit souvent de problèmes héréditaires que la sélection permet d'éliminer assez facilement.

À l'exception des troubles mentionnés chez les animaux du type à viande, aucun grand problème génétique ne s'est posé au cours des vingt dernières années. L'exposé qui suit se limitera donc à l'examen de la résistance génétique aux maladies infectieuses, c'est-à-dire l'aptitude à résister à toute altération de l'état de l'organisme par des facteurs extrinsèques qui interrompent ou perturbent les performances (Gavora et Spencer, 1978) ainsi que de la résistance au stress, c'est-à-dire la résistance à des forces externes qui tendent à modifier l'homéostasie (Scott, 1981).

Comme mentionné précédemment, les éleveurs n'ont commencé à s'intéresser que depuis peu aux caractères liés à la réduction des coûts; la résistance aux maladies a été parmi les derniers caractères de ce groupe à faire l'objet d'études approfondies. Des exceptions notoires comme le développement de races de bovins, d'ovins et de caprins résistants aux trypanosomes (FAO, 1980; Murray et Trail, 1982) confirment cette observation plus qu'elles ne l'infirment. On ne sait pas dans quelle mesure la sélection artificielle a contribué à rendre certaines races telles que la N'Dama chez les bovins, résistantes aux trypanosomes.

Plusieurs raisons expliquent pourquoi les éleveurs ont tant tardé à faire de la résistance aux maladies un volet de leurs programmes d'amélioration génétique. Hutt (1958), considéré comme étant le fondateur de la génétique de la résistance aux maladies, a fait observer que les sélectionneurs de végétaux ont tiré parti de la résistance génétique bien plus que ne l'ont fait les éleveurs. La difficulté que pose la constitution de groupes de recherche multidisciplinaire, à cause de la réticence qu'éprouvent depuis longtemps les généticiens et les vétérinaires à travailler ensemble constitue une explication possible. Le coût élevé de la sélection pour la résistance aux maladies représente un autre obstacle. De plus, l'exposition des groupes d'expérimentation aux pathogènes utilisés pour mesurer la résistance peut causer de lourdes pertes. Cependant, la situation s'améliore progressivement depuis une dizaine d'années. En élevage comme en aviculture, on consacre de plus en plus de recherches à la résistance aux maladies et on commence à assister à l'application pratique des résultats obtenus. Il semble que cette tendance se poursuivra. La réduction des pertes qu'entraîne une meilleure résistance aux maladies permettra d'augmenter la production sans avoir à utiliser davantage de terres (Gavora, 1982), considération de plus en plus importante sur notre planète surpeuplée.

Améliorations de la résistance aux maladies

Malgré ce tableau assez sombre de la situation, certains progrès ont été réalisés. Dans l'ensemble, les efforts visant à améliorer la résistance aux maladies augmentent sans cesse. Les exemples suivants illustrent et documentent cette affirmation.

Bovins On est parvenu à réduire les dommages causés par les infestations de tiques, qui, selon les estimations, coûtent quelque 40 millions de dollars par an en Australie (Utech et Wharton, 1982). L'héritabilité de la résistance aux tiques varie entre 40 et 80 % (Hewetson et Nolan, 1968; Wharton et coll., 1970; Seifert, 1971). La sélection des taureaux a permis de faire passer de 89 à 99 % la réduction du nombre de tiques; ce nombre est estimé à partir de la mortalité des tiques sur un côté du corps des taureaux (Utech et Wharton, 1982).

Miller (1982) a récemment examiné les progrès réalisés en ce qui concerne la mammite, qui, seulement aux États-Unis, cause chaque année des pertes d'environ 2 milliards de dollars. Il a conclu que la lutte contre la mammite est freinée par l'absence d'un critère permettant de détecter la mammite sur le terrain. L'héritabilité de la résistance à la mammite, qui se situe entre de 0,1 et 0,2, indique que la maladie pourrait être sujette à la régulation génétique. Un élargissement des connaissances des mécanismes de résistance qui entrent en jeu ainsi que la mise au point de nouvelles méthodes de diagnostic permettent d'espérer qu'il deviendra possible de mieux lutter contre la mammite.

Ovins On ne comprend pas parfaitement l'étiologie et la nature de l'agent pathogène qui cause la tremblante du mouton. On considère généralement qu'il s'agit d'un virus lent, mais certains chercheurs ont qualifié l'agent pathogène de virus sans gène (Lecocq, 1982), de viroïde et même de vaudou (Marsh et coll., 1978). La tremblante du mouton est une maladie dégénérative du système nerveux qui se présente sous la forme d'une infection naturelle chez les ovins et les caprins (Dickinson, 1976). Elle ressemble au kuru et à la maladie de Creutzfeldt-Jakob chez l'homme.

Il semble que l'infection exige une protéine, et on a inventé un nouveau terme, *prion*, pour désigner les particules infectieuses inhabituelles (Bolton et coll., 1982). Selon Kimberlin (1979), l'agent semble être transmis à la fois par voie maternelle et par voie horizontale. La susceptibilité spécifique à l'infection expérimentale, dans le cas d'au moins une source d'agent pathogène, est contrôlée par un seul gène, pour lequel la susceptibilité est prédominante. Les variations dans l'évolution de la maladie correspondent à des différences génétiques entre les hôtes et les souches de l'agent. Il est possible de produire différents syndromes de la tremblante du mouton dans un seul génotype hôte avec des souches différentes d'agent pathogène de la tremblante du mouton (Dickinson, 1976).

Contrairement à il y a 200 ans environ, où elle posait un grave problème en Grande-Bretagne (Dickinson, 1976), la tremblante du mouton n'est plus aujourd'hui une maladie très coûteuse. Les gènes qui interviennent ou qu'on soupçonne d'intervenir dans la résistance à la tremblante du mouton confèrent une résistance à certaines souches de l'agent pathogène, mais pas à d'autres. Dickinson et Fraser (1979) ont donc recommandé d'utiliser les méthodes génétiques dans le but de réduire l'incidence de la maladie plutôt que de viser à l'éliminer. La possibilité qu'un lien existe entre la résistance à la tremblante du mouton et certains haplotypes du complexe majeur d'histocompatibilité ovin (OLA), signalée par Millot et coll. (1982), pourrait faire l'objet de travaux futurs de recherche.

Porcins Sellwood et coll. (1975) avaient signalé que le colibacille (*Escherichia coli*) K88 positif n'adhérait pas à l'intestin de tous les porcins. Par la suite, Gibbons et coll. (1977) trouvèrent que la

présence du récepteur est déterminée par un seul locus à deux allèles. Le dépistage du récepteur, qui fait appel à la typologie de cellules intestinales obtenues par biopsie, permet la sélection pour la résistance à ce type de colibacille. Les éleveurs de porcins se servent de cette technique (Walters et Sellwood, 1982) pour lutter contre la diarrhée que le colibacille cause chez les porcelets et qui entraîne de grandes pertes financières.

Poulets Les poulets servent souvent d'animaux de laboratoire en zootechnie, parce qu'ils ne coûtent pas cher, que leur taux de reproduction est élevé et que l'intervalle entre les générations est court. Contrairement à la plupart des autres espèces d'animaux de laboratoire, celle-ci présente l'avantage d'être une espèce d'importance économique.

Les travaux réalisés sur la maladie de Marek représentent probablement le meilleur exemple de réussite dans le domaine de la recherche sur la résistance aux maladies. La maladie de Marek est une maladie lymphoproliférative extrêmement fatale et coûteuse, qui est causée par un virus du type herpès. Jusqu'en 1970, la résistance génétique constituait le seul moyen de lutter contre cette maladie. La mise au point de vaccins contre la maladie de Marek, qui sont les premiers vaccins efficaces contre une maladie néoplasique chez quelque espèce que ce soit (Churchill et coll., 1969; Kawamura et coll., 1969; Witter et coll., 1970; Biggs et coll., 1970) a considérablement réduit les énormes pertes causées par cette maladie. Toutefois, Gavora et Spencer (1979) ont montré qu'une protection maximale contre la maladie exigeait à la fois la vaccination et la résistance génétique.

À partir des travaux classiques de l'université Cornell (Hutt et Cole, 1947), un certain nombre de recherches successives ont montré que la sélection permet d'augmenter rapidement la résistance à la maladie de Marek. Cette amélioration peut être réalisée en même temps que l'amélioration de plusieurs caractères liés à la production (Gavora et Spencer, 1983). La sélection directe a été utilisée avec succès, principalement avant la découverte des vaccins, par les éleveurs commerciaux pour augmenter la résistance à la maladie de Marek. Tel que mentionné précédemment, depuis que l'on a découvert le lien qui existe entre la résistance et l'haplotype B^{21} du complexe majeur d'histocompatibilité du poulet (Hansen et coll., 1967; Longenecker et coll., 1976; Briles et coll., 1977), les aviculteurs ont également eu recours à la sélection indirecte pour améliorer la résistance à la maladie de Marek. L'haplotype résistant, ou du moins une partie de celui-ci (Hala et coll., 1981), peut être détecté sur les globules rouges, et les éleveurs commerciaux en augmentent maintenant la fréquence dans leurs souches (Gavora et coll., 1986).

La leucose lymphoïde constitue une autre virose lymphoproliférative des poulets à laquelle on a accordé plus d'attention au cours des dix dernières années. Elle se transmet à la

fois par voie congénitale et par voie horizontale, et les mécanismes de la résistance à cette maladie sont bien connus (Crittenden, 1975). En général, cette maladie ne provoque qu'une très faible mortalité. On l'a considérée insignifiante jusqu'à ce qu'il fut démontré qu'une infection subclinique avec le virus a de profonds effets négatifs sur presque tous les caractères de production, qu'elle augmente de beaucoup la mortalité causée par d'autres facteurs que la maladie elle-même et qu'elle a de lourdes conséquences sur la sélection visant l'amélioration des performances (Spencer et coll., 1979; Gavora et coll., 1980, 1982*b*, 1983; Harris et coll., 1983; Gavora et Spencer, 1985). Ajoutées à la mise au point de moyens efficaces de dépistage du virus (Spencer et coll., 1987), ces constatations ont incité la plupart des éleveurs commerciaux du monde entier à instituer une campagne d'élimination du virus.

Perspectives de l'amélioration génétique de la résistance aux maladies

Grâce aux énormes progrès réalisés en recherche immunologique, on comprend de mieux en mieux la réaction immunitaire. Les travaux du groupe Biozzi (Biozzi et coll., 1979), en particulier, permettent d'évaluer les perspectives d'une amélioration généralisée de la résistance aux maladies. Une approche généralisée s'impose, parce qu'il n'est pas réaliste de sélectionner la résistance spécifique à chaque pathogène. Une meilleure connaissance du rôle que joue le principal complexe d'histocompatibilité dans la réaction immunitaire chez toutes les espèces animales (Simonsen, 1982) aura probablement une grande influence sur les efforts qui seront faits pour améliorer la survie des animaux de ferme. Dans la recherche de mécanismes généraux de résistance, il ne faudra pas négliger certains mécanismes non immunitaires comme le lysozyme (Tizard, 1982) et l'interféron (Stewart, 1979), qui offrent une large gamme d'effets protecteurs potentiels.

Gavora et Spencer (1978, 1983) ont fait valoir à maintes reprises que la résistance génétique aux maladies a un important rôle à jouer en sus de tous les autres moyens de lutte contre les maladies et en conjonction avec ceux-ci. Dans les populations où un agent pathogène a été éliminé, la résistance génétique offre une garantie en cas de réapparition du pathogène. La conjonction de la résistance génétique et de la vaccination offre une protection optimale. En outre, la résistance génétique constitue la seule protection de l'animal contre des agents pathogènes résistants aux médicaments. Enfin, on prévoit que les pressions exercées par les groupes de consommateurs obligeront à réduire la quantité de médicaments donnés aux animaux servant à nourrir l'homme. Ces restrictions ne feront qu'accentuer l'importance de la résistance génétique et de l'élimination des maladies chez les animaux de ferme et les volailles.

La sélection indirecte pour la résistance générale aux maladies, basée sur la réaction immunitaire et d'autres caractères marqueurs qui n'ont pas besoin d'être exposés aux agents pathogènes pour s'exprimer, semble représenter la meilleure stratégie d'amélioration génétique d'animaux résistants aux maladies, pour une pratique à long terme. Toutefois, comme notre connaissance des mécanismes et des relations complexes qui entrent en jeu est loin d'être parfaite, il est probable que l'on aura recours à la sélection directe et indirecte et à l'hétérosis dans les années à venir.

Il faudra poursuivre les recherches pour compléter les résultats d'études à orientation médicale et les adapter à l'amélioration génétique des animaux, ainsi que pour étudier des domaines n'intéressant que les éleveurs. De plus, il faudra mieux comprendre les mécanismes de résistance et expliquer les liens qui existent entre la résistance aux diverses maladies et les caractères de production afin d'incorporer aux plans de production animale les améliorations de la viabilité. La génétique moléculaire ouvre des voies toutes nouvelles pour l'amélioration des espèces animales, et les mécanismes de la résistance génétique constituent l'un des principaux domaines où elle pourrait être appliquée.

L'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE DES ANIMAUX GRÂCE AUX TECHNOLOGIES DE LA REPRODUCTION

J. Nagai

La reproduction joue un rôle important dans le maintien de souches supérieures au fil des générations. Il est possible d'améliorer constamment les souches par la sélection et l'accouplement. Le taux de reproduction et l'intervalle entre les générations sont des facteurs qui exercent une grande influence sur le rythme d'amélioration génétique. De plus, dans certaines espèces, les performances ne peuvent être mesurées seulement lorsque les animaux se reproduisent. Par exemple, la lactation commence normalement quand une vache vêle; jusqu'alors, il est impossible d'évaluer les aptitudes laitières. On ne possède qu'une connaissance imparfaite du nombre de gènes entrant en jeu dans la reproduction et de l'expression de ces gènes. Il est toutefois possible d'accélérer les gains génétiques en augmentant le taux de reproduction. L'exposé qui suit examine les effets des progrès des technologies de la reproduction sur l'amélioration génétique du bétail, en mettant l'accent sur les méthodes qui permettent d'augmenter les faibles taux de reproduction de certaines espèces comme les bovins et les ovins.

Insémination artificielle

Les techniques de collecte, de dilution, d'entreposage et de mise en place de la semence semblent avoir été appliquées avec succès au bétail et en particulier aux bovins laitiers (Foote, 1981). Le principal avantage de l'insémination artificielle est qu'elle permet l'amélioration génétique des performances grâce à l'utilisation intensive de la semence de géniteurs d'élite. En fait, l'insémination artificielle et l'évaluation de la progéniture ont grandement contribué à l'amélioration génétique des bovins laitiers. Les recherches sur les bovins laitiers dans ce domaine comprennent des études sur l'acrosine bovine, qui, pense-t-on, aide le sperme à pénétrer dans la zone pellucide entourant l'ovocyte (Lunstra et Echternkamp, 1982; Elce et McIntyre, 1982), sur le mouvement des spermatozoïdes dans le mucus cervical (Katz et coll., 1981), sur la production quotidienne de spermatozoïdes *in vivo* (Weisgold et Almquist, 1979; Almquist, 1982), sur la cryopréservation des spermatozoïdes (Jeyendran et coll., 1981; Foote, 1982), sur la séparation des spermatozoïdes vivants et morts (Landra et coll., 1980), sur la cytométrie pour l'évaluation des populations de spermatozoïdes X et Y dans la semence cryopréservée (Garner et coll., 1983), et sur les effets génétiques concernant la libido et l'aptitude à l'accouplement (Chenoweth, 1983). Au Canada comme aux États-Unis, l'insémination artificielle n'est pas beaucoup utilisée sur les bovins de boucherie ou les ovins, mais les recherches sur l'insémination artificielle de ces espèces progressent. Par exemple, on a étudié l'effet du moment où l'insémination artificielle a lieu sur la fécondité des brebis (Langford, 1982). Plus les recherches se poursuivront, plus les résultats obtenus devraient devenir fiables, et plus de nouvelles techniques seront mises au point pour l'application efficace de l'insémination artificielle aux bovins de boucherie et aux ovins.

Détection et synchronisation de l'oestrus, et superovulation

Les principales causes de la faible efficacité de reproduction des bovins laitiers sont les taux de conception peu élevés et une première saillie tardive (Pelissier, 1976). En vue de résoudre ces problèmes, on a étudié les techniques de détection de l'oestrus, et on a proposé des améliorations (Barr, 1975; Appleyard et Cook, 1976; Stevenson et Britt, 1977; Williams et coll., 1981). De même, pour réduire les problèmes causés par les difficultés de détection de l'oestrus, on a étudié en détail les techniques de synchronisation de l'oestrus. La synchronisation et la superovulation ont été rendues possibles par des traitements aux hormones telles que la prostaglandine, la $PGF_{2\alpha}$ et une hormone lutéotrope (Gordon, 1982). Ces techniques sont utilisées avec succès pour les transferts d'embryons. D'autres études ont porté sur les activités ovariennes et ont cherché à établir les effets de divers traitements aux hormones, telles que les hormones gonadotropes, sur la superovulation (Carter et coll., 1980; Garverick et coll., 1980; Ainsworth et coll., 1982). Les progrès dans ce domaine ouvrent la

voie à une meilleure utilisation des ovocytes de femelles génétiquement supérieurs, notamment de vaches et de brebis.

Transfert d'embryons et cryopréservation des embryons

Une nouvelle technologie qui permet de prélever des oeufs fécondés et des embryons de vaches donneuses pour les transférer dans l'utérus de receveuses (Seidel et Seidel, 1982; Adams, 1982; Hafez et Semm, 1982) a été utilisée chez les bovins (Newcomb, 1982), les ovins (Moore, 1982) et les caprins (Armstrong et coll., 1983). Les transferts d'embryons peuvent accélérer l'amélioration génétique, notamment chez les animaux de bétail à faible prolificité comme les bovins laitiers (McDaniel et Cassell, 1981). Il faudrait tenir compte, dans l'évaluation des vaches donneuses, des données recueillies sur leurs descendants; cependant il faut beaucoup de temps pour obtenir ces renseignements (Powell, 1981). Van Vleck (1981) a indiqué que le faible surcroît de précision que le contrôle sur descendance permettrait d'apporter à l'évaluation d'une vache laitière ne justifie pas que l'on prolonge de 3 ou 4 ans l'intervalle entre générations. Il a suggéré que l'on pourrait intensifier la sélection des mères de taureaux, mais il a fait valoir que pour cela il faudrait surmonter les difficultés que présente l'évaluation des mères de taureaux. Les avantages du transfert d'embryons paraissent minimes, du moins dans les programmes où les vaches utilisées pour produire des taureaux font déjà l'objet d'une sélection intense et précise (Hill et Land, 1976). Cette technique a toutefois ses avantages dans le cas d'un petit troupeau (Robertson, 1954; Land, 1977*a*; Church et Shea, 1977). Récemment, Nicholas et Smith (1983) ont proposé des méthodes combinant le transfert d'embryons, le contrôle des collatéraux et les données généalogiques; ces méthodes permettent de réduire l'intervalle entre les générations et n'exigent pas autant de précision dans la sélection. Ce concept d'un troupeau-noyau (Nicholas et Smith, 1983) semble promettre une importante accélération des gains génétiques, mais il doit faire l'objet de vérifications expérimentales. À l'heure actuelle, l'un des problèmes que pose le transfert d'embryons est son coût, qui varie entre 300 $ et 2 000 $ par transfert. Ce prix devra être réduit de façon importante pour que la technique se généralise (Wilmut et Hume, 1978; van Vleck, 1981). Les techniques de congélation des oeufs et des embryons peuvent maintenant être utilisées sur le terrain (Maurer, 1978; Leibo, 1981), mais on a remarqué certains problèmes, comme le faible taux de gravidité des vaches, lorsque l'on utilise des embryons congelés (Kanagawa, 1983).

La gestation à contre-saison chez les ovins

Dans des conditions naturelles, la lutte a lieu à l'automne, mais les techniques de maîtrise de la reproduction ont rendu la lutte

possible à tout moment de l'année (Heaney et coll., 1980). Le progestagène et la gonadotropine sérique de jument gravide se sont avérés utiles pour la synchronisation de routine des oestrus (Hackett et coll., 1982). Bindon et Piper (1979) ont évalué de nouvelles techniques qui permettent de sélectionner des brebis ayant un meilleur taux de reproduction. Parmi les caractères de reproduction importants chez les ovins, on retrouve le poids de la portée et le nombre d'agneaux nés (la taille de la portée). Il existe un lien positif entre le poids de la portée et le nombre d'agneaux nés, et les deux caractères sont héritables. La taille de la portée peut être augmentée par la sélection et les croisements. La production totale d'une brebis au cours de sa vie peut se mesurer au poids total des portées qu'elle produit. Ce paramètre est influencé par le nombre de parturitions et par la taille et le poids de toutes les portées qu'elle produit. La conjugaison des efforts visant à améliorer la reproduction, le potentiel génétique des animaux et la conduite de l'élevage devrait permettre d'augmenter de façon importante la production totale d'une brebis au cours de sa vie.

Bovins laitiers et durée de vie

Normalement, il se produit un effet d'hétérosis favorable sur les caractères de reproduction quand on croise deux races ou deux souches. Cette vigueur hybride peut donner lieu à de meilleures performances de reproduction à long terme. Les vaches issues de croisements ont une production de lait supérieure au cours de leur vie grâce à l'effet d'hétérosis sur le nombre de jours entre la première mise à la reproduction et la conception, sur l'intervalle entre les vêlages (McDowell et coll., 1974) et sur la mortalité embryonnaire (Ayalon, 1978). L'effet d'hétérosis sur les aptitudes pendant la durée de vie est examiné dans le cadre du Projet coopératif national d'amélioration génétique des bovins laitiers poursuivi au Centre de recherches zootechniques d'Ottawa et dans certaines stations de recherches d'Agriculture Canada (McAllister et coll., 1978). Il semble y avoir un effet d'hétérosis sur la survie, la croissance, la reproduction des génisses et la lactation. Les aspects génétiques des aptitudes pour la durée de vie ont été étudiés chez les bovins laitiers (Hoque et Hodges, 1980), en accordant une attention particulière à la fécondité (Hansen, 1979; Berger et coll., 1981; Philipsson, 1981), ainsi que chez les souris. Nagai et coll. (1980) ont trouvé que la lactation totale des souris F_1 issues du croisement de lignées dérivées de populations différentes était supérieure de 18 % à celle des souris F_1 issues du croisement de lignées dérivées de la même population. De plus, ils ont démontré que le nombre de lactations, caractère composant de la lactation de la vie entière, était supérieur de 14 % et qu'un autre caractère composant, la production de lait par lactation, était supérieur de 4 %. Les systèmes de croisements que l'on peut utiliser pour les bovins laitiers comprennent le croisement alternatif (CC) et le croisement successif à

des mâles F_1 (RHMC) (Nagai et McAllister, 1982), ainsi que l'accouplement au hasard au sein d'une population de synthèse de diverses races (SYN). L'expérimentation sur les souris a démontré que le rapport prévu des performances de CC/RHMC ou de CC/SYN concordait parfaitement avec le rapport observé (Nagai et McAllister, 1983).

Gains génétiques attribuables aux nouvelles technologies de reproduction

Le taux d'amélioration génétique chez les animaux est déterminé par la précision avec laquelle on estime les valeurs de reproduction des géniteurs et des mères, par l'intensité de la sélection, par la variation génétique entre les individus et par la durée de l'intervalle entre les générations. Les progrès des technologies de la reproduction contribueront à l'amélioration génétique en mettant à profit certains de ces facteurs. La possibilité de déterminer le sexe de la semence et des embryons (Bongso et coll., 1978; Betteridge et coll., 1981; Ohno, 1983) aidera à augmenter l'intensité de la sélection. La mise en application des méthodes de fractionnement des embryons permettra de produire des jumeaux monozygotes (Ozil et coll., 1982) et des quadruplés monozygotes (Willadsen, 1982). Si l'on peut estimer avec précision les valeurs de reproduction des animaux fournissant les embryons, le fractionnement d'embryons provenant de parents supérieurs permettra d'accélérer l'amélioration génétique. On pourrait également multiplier les sujets génétiquement supérieurs par clonage ou parthénogenèse (Markert et Seidel, 1981), ou par combinaison de deux gamètes porteurs de chromosomes X d'un mâle, c'est-à-dire par l'autofécondation (van Vleck, 1981). En enlevant le pronucléus d'oeufs fécondés, on peut produire en une seule génération des femelles génétiquement homozygotes (Hoppe et Illmensee, 1977; Clement et Petters, 1977). Les techniques de superovulation (Elsden et coll., 1978; Chupin et Procureur, 1983), de fertilisation *in vitro* (Brackett, 1981; Ball et coll., 1983) et de transfert d'embryons (Adams, 1982) permettront d'utiliser, pour produire des jeunes, les innombrables follicules ovariens qui, autrement, ne serviraient à rien.

On pourrait utiliser les techniques de congélation, de dégel et de transfert des embryons pour établir des banques d'embryons et de gènes. Il serait possible de perfectionner les techniques de transplantation du nucléus (Illmensee et Hoppe, 1981) et d'insertion d'un gène spécifique dans les embryons (Constantini et Lacy, 1981; Wagner et coll., 1981; Palmiter et coll., 1982*a*) pour améliorer les aptitudes des animaux pour des caractères contrôlés par des gènes multiples. On pourrait utiliser des chimères issues d'espèces et de genres différents (par exemple un sujet contenant des cellules d'un ovin et d'un caprin) pour créer de nouveaux types d'animaux pouvant s'adapter à des milieux rudes. Les phéromones attractives (Izard et Vandenbergh, 1982) ou la définition chimique de l'odeur mâle (Sasada

et coll., 1983) pourraient être utilisées pour une meilleure maîtrise de la reproduction. On a tenté d'influencer le jour de la parturition en traitant les animaux à la prostaglandine $PGF_{2\alpha}$ (Butler et Boyd, 1983). De nouveaux programmes de conduite pourraient être appliqués, par exemple un programme où l'oestrus est détecté par la température du corps (Hurnik, 1983) et où les animaux sont inséminés par une semence dont le sexe a été choisi, libérée à partir d'une capsule placée au préalable dans le tractus génital.

Bien qu'il reste à débattre certains problèmes concernant l'éthique et le bien-être des espèces animales, les progrès réalisés au cours des dix dernières années laissent entrevoir une évolution plus poussée des technologies de la reproduction dans les années à venir. L'amélioration génétique des animaux va s'accélérer rapidement quand on aura fait la promotion de programmes d'élevage fondés sur les technologies de reproduction les plus modernes.

GÉNÉTIQUE MOLÉCULAIRE

D.E. Bernon et J.S. Gavora

Plusieurs auteurs ont traité de la valeur potentielle de la biologie moléculaire et de la biologie de la reproduction pour l'avenir de l'amélioration des animaux (Church, 1974; Ward, 1982; Rutledge et Seidel, 1983; Wagner, 1985; Crittenden et Salter, 1985; Teather, 1985; Church et coll., 1985). L'exposé précédent a examiné certains aspects connexes de la biologie de la reproduction. Toutefois, la génétique moléculaire n'est qu'un élément du génie génétique moderne. Rutledge et Seidel (1983) ont donné de ce domaine la définition générale suivante : l'ensemble des technologies qui permettent de modifier directement la fréquence des gènes ou des génotypes, ou de modifier les caractéristiques de la vie d'individus, ou leurs gamètes, au point où certains sujets contribueront de façon disproportionnée au fonds gamétique ou zygotique de la population. En général, toute application du savoir à la modification génétique relève du domaine du génie génétique. C'est ainsi que la génétique quantitative classique appliquée à l'amélioration des espèces animales fait elle-même partie du génie génétique (Dickerson et Willham, 1983). La technologie moderne dont il est question ici ne représente qu'une partie de l'ensemble d'outils très avancés et d'une grande efficacité potentielle qui peuvent être utilisés.

Jusqu'à présent, les éleveurs ont fondé une grande part de leurs programmes d'amélioration sur des variations génétiques naturelles. Grâce aux promesses de la génétique moléculaire et d'autres disciplines connexes, il se peut que les éleveurs puissent maîtriser et créer de nouvelles variations génétiques. Par ailleurs, les progrès de la génétique moléculaire font rapidement reculer les limites de nos connaissances sur l'organisation génétique. Les découvertes récentes remettent en question nos anciennes conceptions de l'évolution et de la

diversité génétique (Gillings et Frankham, 1982), et le rythme auquel nous élargissons nos connaissances dans ce domaine ne semble pas devoir ralentir (Ward, 1982).

La structure des gènes des vertébrés, qui fait l'objet des efforts des éleveurs, semble différer de celle des procaryotes, comme l'avaient d'abord indiqué Jacob et Monod (1961). Un élément distinctif est la présence de séquences d'ADN (introns) qui interrompent la séquence de codage au lieu de coder pour des polypeptides. La proportion d'introns dans les gènes de structure varie beaucoup : certains gènes n'en contiennent pas du tout, et d'autres consistent presque exclusivement en introns. Par exemple, moins de 5 % seulement de la structure d'ADN de la myoglobine chez l'homme code pour le message (Lewin, 1983). Une situation semblable existe dans le cas des gènes des protéines du lait. Chez le rat, par exemple, le gène de la caséine gamma est 17 fois plus long que son ARNm et possède neuf petites séquences de codage (exons), dont l'une n'a qu'une longueur de 44 bases (Kang et coll., 1986). Par ailleurs, la disposition des gènes semble, dans certains cas, correspondre à l'ordre de leur expression (Ward, 1982). Il convient de tenir compte de ces caractéristiques et d'autres caractéristiques semblables du génome eucaryote quand on procède à la manipulation directe du génome.

Techniques

Robertson (1982) a identifié les phases suivantes de la modification de la constitution génétique d'un animal. On commence par isoler le gène en question, afin de pouvoir le multiplier dans une cellule bactérienne ou un autre hôte équivalent. Il est préférable d'isoler la séquence sous forme d'ARNm dans le tissu où le gène est actionné. Ensuite, après traitement, le gène est introduit dans les animaux receveurs de telle façon qu'il s'exprime dans le tissu approprié et se transmet de façon stable aux générations subséquentes.

Il n'est pas nécessaire de connaître la position exacte du gène visé sur le chromosome pertinent pour pouvoir l'identifier, parce que l'on peut simplement retirer du tissu voulu l'ADN fonctionnel, le séquencer, le multiplier et le transférer (Wagner et coll., 1981; Palmiter et coll., 1982*a,b;* Rubin et Spradling, 1982). Pour l'identification, il serait utile de comprendre les spectres de bandes des chromosomes, les groupes de liaison et la structure exacte du produit du gène. Au nombre des gènes qu'on a su identifier, citons les gènes de l'ovoglobuline et de l'ovalbumine chez les volailles (Bloom, 1981; Somes, 1981), les gènes de la kératine chez le mouton (Ward, 1982; Ward et coll., 1982) et le gène rosé chez *Drosophila* (Rubin et Spradling, 1982; Spradling et Rubin, 1982).

La plupart du temps, on procède à la multiplication de l'ADN récupéré à l'aide d'*E. coli* (Strasiak et Capua, 1982). Le clonage, avant leur transfert, des gènes qui codent pour des produits connus,

augmente la quantité de matériel disponible (Padyatty et coll., 1981) et permet sa caractérisation (Choo et coll., 1982; Edgell et coll., 1979).

Trois méthodes différentes de transfert des gènes se sont avérées efficaces (Ward, 1982) : le transfert à l'aide de vecteurs dérivés de virus transformateurs; la transformation de lignées de cultures de cellules par l'ADN nu; et la micro-injection directe de l'ADN purifié.

Williams et Blattner (1980) ainsi que Lindenmaier et coll. (1982) ont signalé l'utilisation réussie du virus lambda comme vecteur pour insérer du matériel génétique dans l'*E. coli*, bien que ce vecteur semble ne pouvoir servir qu'à la transduction de gènes près de son site d'attache (Shimada et coll., 1977). De même, Hemer (1980) s'est servi des recombinants du virus SV40 pour introduire des gènes étrangers dans des cellules animales. Salter et coll. (1986) ont récemment signalé la réussite d'un transfert génique chez le poulet à l'aide de rétrovirus aviaires recombinés.

La micro-injection semble prometteuse pour les applications zootechniques. Celis et coll. (1980) ont été les premiers à utiliser cette méthode, qui consiste à insérer dans la membrane d'une cellule vivante l'extrémité d'une micropipette (diamètre d'un micron). Cette technique a été utilisée pour transférer le gène de la globine du lapin à des souris (Wagner et coll., 1981; Constantini et Lacy, 1982), le gène d'agouti d'une souris à une autre (Stewart et Mintz, 1981), le gène de l'hormone de croissance du rat à des souris (Palmiter et coll., 1982*a*,*b*) et le gène de la globine de l'homme à des souris (Stewart et coll., 1982). Des exemples récents de transferts de gènes par micro-injection ont été fournis par Hammer et coll. (1985) pour les lapins, les ovins et les porcins, par Brem et coll. (1986) pour les porcins, et par Ward et coll. (1986) pour les ovins.

Un transfert génique ne peut être considéré comme une réussite totale que si le nouveau gène fonctionne de façon normale chez le receveur et est bien transmis à la descendance. La stabilité du matériel génétique transféré est confirmée par l'expression du nouveau gène dans plusieurs générations de descendants.

Pendant encore un certain temps, les sujets ayant subi des modifications génétiques devront être reproduits par les moyens classiques. Leur intégration aux populations d'élevage ouvre de nouvelles possibilités de combiner les méthodes de sélection classique à ces nouvelles méthodes, et va offrir de nouveaux sujets de recherche fondamentale et appliquée. Il est évident qu'il faudra faire subir les épreuves les plus rigoureuses aux animaux et volailles transgéniques avant de les utiliser pour la production industrielle. Il est essentiel de comprendre le comportement des gènes exogènes et leur effet sur les performances globales. Ces essais vont exiger d'importantes ressources en chercheurs et en installations, ce qui représente un coût supplémentaire des applications biotechnologiques qu'oublient souvent les planificateurs.

À la longue, des méthodes plus directes pour multiplier des génomes que l'on désire obtenir pourraient devenir réalisables dans la pratique : fractionnement des embryons, clonage et sexage (Church et

coll., 1985). Une fois que ces nouvelles méthodes se seront imposées, les techniques de production animale auront peu en commun avec celles qui sont utilisées aujourd'hui (Ward, 1982).

Applications possibles

Les techniques du génie génétique moderne peuvent être appliquées à l'amélioration des espèces animales de plusieurs façons.

Transfert génique Il est possible de transférer à un individu des gènes, provenant de la même espèce ou d'une autre espèce, gènes ayant un potentiel plus intéressant que ceux du receveur. Citons l'exemple de Palmiter et coll. (1982*a*), qui ont transféré des gènes d'hormone de croissance de rat à des souris et ont ainsi provoqué une augmentation de taille importante chez ces souris. De façon à élaborer un mécanisme de régulation de l'expression du nouveau gène, ils ont uni le gène de l'hormone de croissance de rat à un gène de la métallothionéine avant de le transférer à la souris. Avant cela, un gène de la globine du lapin avait été transféré avec succès à des souris (Wagner et coll., 1981). Comme mentionné précédemment, des transferts semblables sur des animaux domestiques et des oiseaux ont déjà été signalés. Parmi les gènes qu'il serait intéressant de transférer, mentionnons le gène Booroola, que l'on associe aux ovulations multiples chez les ovins, les gènes du caractère culard et d'autres encore.

En plus de franchir les barrières biologiques qui s'opposent normalement au croisement de certains taxons, le transfert direct de gènes par des méthodes moléculaires offre au moins deux grands avantages. Premièrement, le transfert direct est bien plus rapide que les méthodes de croisement et de croisement de retour normalement utilisées pour transférer un gène ou un groupe de gènes. Deuxièmement, le transfert direct empêche le transfert de matériel génétique indésirable, ce que ne peuvent éviter les techniques classiques. Même après des croisements de retour sur une longue période, les méthodes classiques ne peuvent garantir l'élimination du matériel génétique indésirable.

Après avoir transféré un seul nouveau gène dans le génome, il reste à savoir s'il s'exprimera et s'intégrera aux processus ontogénétiques et physiologiques du receveur. De récentes études qui montrent que l'expression du gène transféré est contrôlée par le génome du receveur sont encourageantes. Par exemple, Brinster et coll. (1981) ont trouvé qu'un gène étranger transféré s'exprimait de façons différentes dans des tissus différents, de la même manière que les gènes qui font normalement partie du génome.

Tout en reconnaissant le danger de passer au domaine de la science-fiction, on peut imaginer par exemple l'avantage de l'utilisation des techniques du génie génétique pour conférer à des non-ruminants l'aptitude à consommer des fourrages grossiers. Au cours des dix prochaines années, le génie génétique pourrait

s'intéresser de la même façon aux gènes qui contrôlent les réactions immunitaires ou aux gènes qui contrôlent la résistance aux maladies. Il est possible, par exemple, que le génie génétique permette de transférer la résistance ou la tolérance aux maladies de certaines races indigènes peu productives aux nouvelles races qui sont normalement susceptibles aux agents pathogènes locaux, sans transférer en même temps les gènes indésirables associés à la faible productivité.

Il se peut par ailleurs que le transfert génique permette de modifier le génome d'un animal pour l'amener à produire de grandes quantités de protéines importantes (Marx, 1982).

Élimination ou blocage de gènes indésirables Une autre application possible des techniques de la génétique moléculaire pourrait être l'élimination des effets de gènes indésirables. Ces derniers comprennent les gènes qui codent pour les récepteurs d'agents pathogènes comme le virus de la leucose lymphoïde chez les poulets (Crittenden, 1975; Payne, 1985) ou la souche K88 du colibacille (*E. coli*) chez les porcins (Walters et Sellwood, 1982).

Chez les poulets, par exemple, le virus endogène de la leucose lymphoïde est produit à partir d'ADN proviral qui fait en permanence partie du génome des poulets. Il semble réaliste de penser qu'on pourra un jour éliminer cet ADN ou le rendre incapable de produire le virus. On pourrait utiliser un mécanisme appelé ADN anti-sens, qui est un mécanisme normal de défense dans certains taxons inférieurs, pour bloquer les gènes indésirables (Crittenden et Gavora, 1986).

Modification de la qualité des produits par l'altération des gènes de structure Dans son excellent examen des contributions possibles de la génétique moléculaire à l'amélioration des espèces animales, Ward (1982) envisage des changements possibles dans les fibres textiles (laine, cachemire et mohair), les protéines musculaires (actine et myosine) et les protéines du lait (caséines et lactoglobulines) et présente un exposé détaillé des progrès réalisés en Australie sur la kératine. Qu'il s'agisse de modifier la composition des produits, d'en améliorer la qualité ou d'augmenter l'efficacité de leur production, les possibilités qui s'ouvrent sont nombreuses dans ce domaine pratiquement sans limites.

Évaluation des candidats à la sélection La génétique moléculaire pourrait également servir à identifier les animaux qui ont des caractéristiques génétiques désirables ou indésirables. Ce genre de renseignement pourrait être utilisé pour la sélection classique ou la manipulation génétique directe.

À cet égard, les polymorphismes des longueurs des fragments de restriction (PLFR), détectés grâce au clivage de l'ADN par des enzymes de restriction et appelés sondes d'ADN, pourraient servir de marqueurs génétiques des loci des caractères quantitatifs importants. Les principes de l'application des RFLP à l'amélioration du bétail ont

été examinés par Beckmann et Soller (1983), Soller et Beckmann (1983) ainsi que Smith et Simpson (1986).

La connaissance du génome Tel que mentionné précédemment, malgré les grands progrès de la génétique moléculaire, nous n'avons encore qu'une connaissance rudimentaire du génome dans toute sa complexité. Néanmoins, les éleveurs ont affaire à des caractères complexes de production et des structures de génétique moléculaire dont la syntaxe nous échappe pour le moment. Le problème est d'autant plus grave que l'expression phénotypique de ces caractères fait intervenir des processus épigénétiques d'une toute aussi grande complexité. L'étude de ces caractères complexes et des structures de génétique moléculaire va exiger l'intervention de nombreuses techniques et disciplines scientifiques. L'élucidation graduelle des liens génétiques qui devrait découler de telles recherches multidisciplinaires devrait profiter non seulement aux éleveurs et aux consommateurs, mais aussi aux sciences biologiques en général. Ce genre de recherches pourrait peut-être permettre un jour la manipulation d'ensembles de gènes désirables plutôt que de gènes isolés. Par ailleurs, il serait alors possible de manipuler les séquences de régulation plutôt que les séquences de structure de l'ADN, ce qui pourrait avoir d'importantes applications en amélioration génétique des animaux.

Identification de sujets ou de groupes génétiques et vérification de la généalogie Les polymorphismes de l'ADN offriront un moyen fiable d'identifier des sujets, des races, des lignées ou des souches et de vérifier la généalogie. Cette méthode, basée sur les RFLP et appelée analyse des empreintes digitales d'ADN chez l'homme (Jeffreys et coll., 1985), pourrait finir par remplacer la détermination du groupe sanguin et les polymorphismes biochimiques aujourd'hui utilisés pour vérifier la généalogie des bovins et des chevaux.

On a récemment proposé d'insérer des séquences d'ADN synthétiques dans les sujets transgéniques où elles serviraient de fiche signalétique permettant l'identification sans équivoque de variétés par échantillonnage (Beckmann et Bar-Joseph, 1986). Une méthode d'identification semblable pourrait bien être utilisée en amélioration génétique des animaux.

CONCLUSION

J.S. Gavora

L'examen des rôles passés et à venir des divers domaines de recherche et des diverses disciplines illustre les interactions qui existent entre ces domaines et démontre que la complémentarité de leur évolution devient de plus en plus forte et de plus en plus souhaitable. Au cours des dernières années, les chercheurs sont sortis du cocon de leur discipline et ont abandonné la recherche individuelle pour se joindre à des équipes multidisciplinaires. Des groupes multidisciplinaires commencent aussi à prendre part à la gestion technique des programmes d'amélioration génétique. Comme l'ont fait ressortir Rutledge et Seidel (1983), il existe une certaine synergie entre les diverses disciplines, ce qui rend vains les efforts visant à isoler les effets d'une seule technologie nouvelle. Toutefois, la contribution future des divers domaines de recherche et des diverses disciplines scientifiques aux progrès de l'amélioration génétique des animaux variera probablement en fonction de leur maturité. Le diagramme présenté à la figure 2 montre les effets prévus de la génétique moléculaire, de la génétique biochimique et physiologique et de la génétique quantitative et statistique.

Ce tour d'horizon de l'amélioration génétique des animaux nous amène à une conclusion générale : le plus grand problème qui se pose maintenant à la recherche en amélioration génétique des animaux consiste à trouver et à maintenir un juste milieu entre les méthodes classiques de l'élevage et de la génétique d'une part et les méthodes de la biotechnologie d'autre part. La biotechnologie offre aux éleveurs des outils d'une grande puissance; cependant, pour obtenir ces outils et pour perfectionner encore plus ces derniers, d'importants crédits sont nécessaires. Le sous-financement des travaux de recherche dans ce domaine ralentirait l'amélioration génétique du bétail. Toutefois, il serait tout aussi dangereux de se hâter de sabrer dans les ressources consacrées à la recherche classique pour pouvoir financer la biotechnologie.

Nous appuyons fortement la poursuite de recherches extensives classiques en amélioration génétique des animaux, y compris les programmes expérimentaux de sélection de toutes les espèces du bétail. Malgré l'évolution récente de la manipulation moléculaire et cellulaire, l'amélioration génétique classique va rester la méthode fondamentale d'amélioration du bétail. Pour ce qui est de la biotechnologie, les meilleures chances de réussite se trouvent dans la collaboration avec les disciplines classiques de la production animale, c'est-à-dire dans la poursuite de recherches conjointes par des équipes multidisciplinaires composées d'experts en génétique moléculaire et en biotechnologie ainsi que dans les disciplines scientifiques traditionnelles. Le problème consiste à optimiser l'intégration de la biotechnologie à l'amélioration génétique des animaux.

Les travaux que nous a occasionnés la préparation de ce tour d'horizon nous ont aidé à comprendre plus clairement les problèmes complexes qui se posent aux éleveurs. Nous sommes conscients du fait qu'il aurait été peu réaliste de vouloir tout couvrir. En regroupant ainsi dans cet exposé une rétrospective du sujet et une analyse des perspectives, nous espérons fournir des renseignements utiles au lecteur.

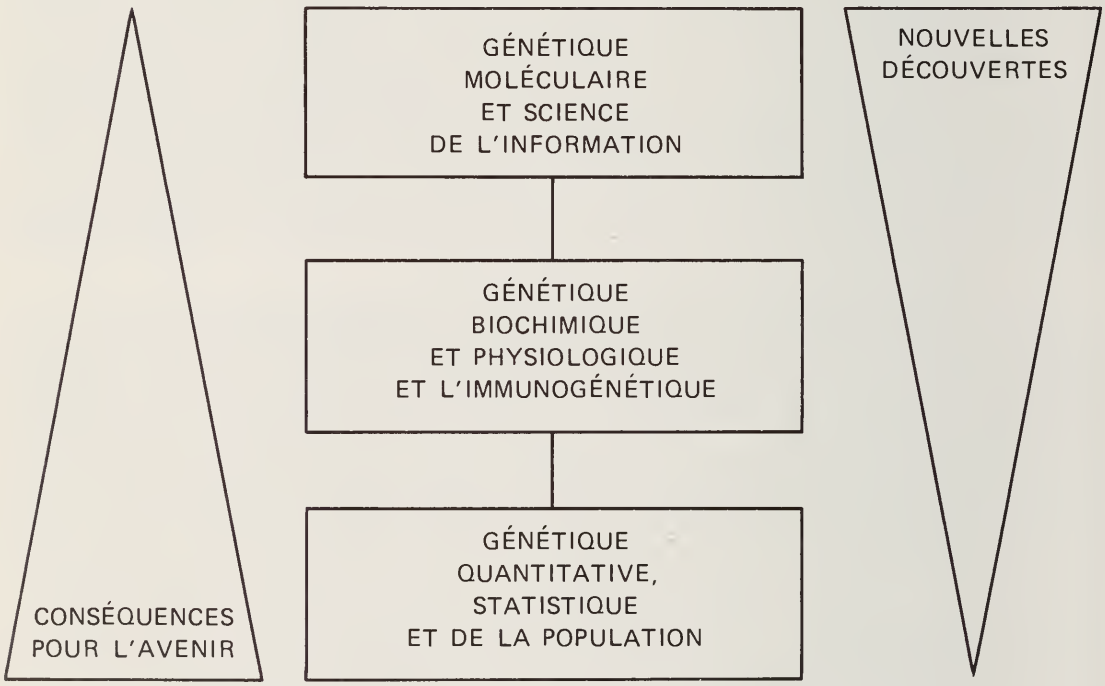

Figure 2 Domaines de la génétique intéressant l'amélioration génétique des animaux, leur effet prévu sur les programmes pratiques d'amélioration génétique et leur contribution prévue à de nouvelles découvertes

BIBLIOGRAPHIE

Adams, C.E. 1982. Egg transfer: Historical aspects. Pages 1–18 *in* Adams, C.E., éditeur. Mammalian egg transfer. CRC Press, Boca Raton (Floride).

Adolph, R.H. 1976. Higher feed costs change management programs in San Diego County, California. Poult. Sci. 55:2010.

Agriculture Canada. 1972. Revue du marché du bétail, Section des renseignements sur les inscriptions, Division du bétail, Agriculture Canada, Ottawa.

Agriculture Canada. 1981. Revue du marché du bétail, Service de l'information sur les marchés, Division des services de commercialisation, Agriculture Canada, Ottawa.

Agriculture Canada. 1986. Programme canadien d'évaluation des taureaux de boucherie. Division des productions animales, Agriculture Canada, Ottawa.

Agriculture Canada. 1983. Analyse du marché. Hoff, H.B., éditeur. Direction de la commercialisation et de l'économie, Agriculture Canada, Ottawa.

Ainsworth, L.; Heaney, D.P.; Fiser, P.S.; Langford, G.A.; Shrestha, J.N.B.; Leger, D.A. 1986. Research and technology for increasing the efficiency and output of lamb production systems. Agriculture Canada, Bulletin technique n° 2 du Centre de recherches zootechniques.

Ainsworth, L.; Lachance, R.; Labrie, F. 1982. Effect of GnRH-induced endogenous luteinizing hormone release and exogenous progesterone treatment on ovarian activity in the postpartum ewe. J. Anim. Sci. 54:998–1004.

Akbar, M.K.; Gavora, J.S.; Friars, G.W.; Gowe, R.S. 1983. Composition of eggs by commercial size categories: Effects of genetic group, age and diet. Poult. Sci. 62:925–933.

Almquist, J.O. 1982. Effect of long term ejaculation at high frequency on output of sperm, sexual behaviour, and fertility of Holstein bulls: Relation of reproductive capacity to high nutrient allowance. J. Dairy Sci. 65:814–823.

Anderson, V.L.; Kempthorne, O. 1954. A model for the study of quantitative inheritance. Genetics 39:883–898.

Andresen, E.; Barton-Gade, P.; Hyldgaard-Jensen, J.; Iorgensen, P.F.; Nielsen, P.B.; Moustgaard, J. 1979. Selection for improved meat quality with the aid of genetic markers in pigs of the Danish Landrace breed. Acta Agric. Scand. 29:291–294.

Andresen, E.; Jensen, P. 1979. The effect of selection for improved meat quality by means of the H blood group system in pigs of the Danish Landrace breed. Nord. Veterinaermed. 31:35–37.

Anonyme. 1985. Le lait – Aperçu de l'industrie – Quelques données. Publication de la Fédération canadienne des producteurs de lait.

Anonyme. 1986. Rapport annuel P.A.T.P.Q. (Contrôle d'aptitudes des truies au Québec). Publication du gouvernement du Québec.

Appleyard, W.T.; Cook, B. 1976. The detection of oestrus in dairy cattle. Vet. Rec. 99:253–256.

Armstrong, D.T.; Plitzner, A.P.; Warnes, G.M.; Seamark, R.F. 1983. Superovulation treatments and embryo transfer in Angora goats. J. Reprod. Fertil. 67:403–410.

Ashton, G.C. 1957. Serum protein differences in cattle by starch gel electrophoresis. Nature (Lond) 180:917–918.

Ashton, G.C.; Hewetson, R.W. 1969. Transferrin and milk production in dairy cattle. Anim. Prod. 11:533–542.

Ayalon, N. 1978. A review of embryonic mortality in cattle. J. Reprod. Fertil. 54:483–493.

Backestrom, L. 1973. Environment and animal health in piglet production. A field study of incidences and correlations. Acta Vet. Scand. Suppl. 41.

Baker, R.L.; Steine, T.A.; Vabeno, A.W.; Bekken, A.; Gjedrem, T. 1978. Effect of mating ewe lambs on lifetime productive performance. Acta Agric. Scand. 28:203–217.

Ball, G.D.; Leibfried, M.L.; Lenz, R.; Ax, R.I.; Bavister, B.D.; First, N.L. 1983. Factors affecting successful in vitro fertilization of bovine follicular oocytes. Biol. Reprod. 28:717–725.

Barlow, R. 1974. Selection for clean fleece weight in Merino sheep. II. Correlated responses to selection. Aust. J. Agric. Res. 25:973–994.

Barr, H.L. 1975. Influence of estrus detection on days open in dairy herd. J. Dairy Sci. 58:246–247.

Bass, J.J.; Woods, E.G.; Paulsen, W.D. 1982. A comparison of three ultrasonic machines (Danscan, AIDD (NZ) and Body Composition Meter) and subjective fat and conformation scores for predicting chemical composition of live sheep. J. Agric. Sci. (Camb.) 99:529–532.

Batra, T.R. 1979. Genetic trends for milk and fat production in dairy cattle. Can. J. Anim. Sci. 59:203–206.

Bazer, F.W.; Robison, O.W.; Clawson, A.J.; Ulberg, L.C. 1969. Uterine capacity at two stages of gestation in gilts following embryo superinduction. J. Anim. Sci. 20:30–34.

Becker, W.A.; Spencer, J.V.; Mirosh, L.W.; Verstrate, J.A. 1979. Prediction of fat and fat free live weight in broiler chickens using backskin fat, abdominal fat and live body weight. Poult. Sci. 58:835–842.

Beckmann, J.S.; Bar-Joseph, M. 1986. The use of synthetic DNA probes in breeders' rights protection: A proposal to superimpose an alphanumerical code on the DNA. Trends in Biotechnology, septembre 1986, pp. 230–232.

Beckmann, J.S.; Soller, M. 1983. Restriction fragment length polymorphisms in genetic improvement: Methodologies, mapping and costs. Theor. Appl. Genet. 67:35–43.

Beilharz, R.G. 1982. Genetic adaptation in relation to animal welfare. Int. J. Study Anim. Probl. 3:117–124.

Bereskin, B.; Shelby, C.E.; Cox, D.F. 1973. Some factors affecting pig survival. J. Anim. Sci. 36:821–827.

Berg, R.T.; Anderson, B.B.; Liboriussen, T. 1978. Growth of bovine tissues. I. Genetic influences on growth patterns of muscle, fat and bone in young bulls. Anim. Prod. 26:245.

Berg, R.T.; Butterfield, R.M. 1976. New concepts of cattle growth. Sydney University Press, Sydney.

Berg, R.T.; Walters, L.E. 1983. The meat animal: Changes and challenges. J. Anim. Sci. 57 (Suppl. 2):133.

Berger, P.J.; Shanks, R.D.; Freeman, A.E.; Laben, R.C. 1981. Genetic aspects of milk yield and reproductive performance. J. Dairy Sci. 64:114–122.

Bernard, C.; Fahmy, M.H. 1970. Effect of selection on feed utilization and carcass score in swine. Can. J. Anim. Sci. 50:575–584.

Berruecos, J.M.; Dillard, E.U.; Robison, O.W. 1970. Selection for low backfat thickness in swine. J. Anim. Sci. 30:844–848.

Betteridge, K.J.; Hare, W.C.D.; Singh, E.L. 1981. Approaches to sex selection in farm animals. Pages 109–126 *in* Brackett, B.G.; Seidel, G.E.; Seidel, S.M., éditeurs. New technologies in animal breeding. Academic Press, New York (N.Y.).

Bignard, M.; Seidel, C.M. 1982. Selection for reproductive performance in maternal lines of pigs. C.R. 2e Congrès mondial sur la génétique appliquée à la production animale, Madrid, 8:565–569.

Biggs, P.M.; Payne, L.N.; Milne, B.S.; Churchill, A.E.; Chubb, R.C.; Powell, D.G.; Harris, A.H. 1970. Field trials with an attenuated cell associated vaccine for Marek's disease. Vet. Rec. 87:704–709.

Bindon, B.M.; Piper, L.R. 1979. Assessment of new and traditional techniques of selection for reproductive rate. *In* Jones, G.I.; Robertson, D.E.; Lightfoot, R.J., éditeurs. Sheep breeding. Pratlerworth and Co. Ltd., Londres.

Biozzi, G.; Mouton, D.; Sant'Anna, O.A.; Passos, H.C.; Gennart, M.; Reis, M.H.; Ferreira, V.C.A.; Heumann, A.M.; Bouthillier, Y.; Ibanez, O.M.; Stiffel, C.; Siqueira, M. 1979. Genetics of immunoresponsiveness to natural antigens in the mouse. Curr. Top. Microbiol. Immunol. 85:31–98.

Bloom, S.E. 1981. Detection of normal and aberrant chromosomes in chicken embryos and in tumor cells. Poult. Sci. 60:1355–1361.

Bolton, D.C.; McKinley, M.P.; Prusiner, S.B. 1982. Identification of a protein that purifies with the scrapie prion. Science 218:1309–1311.

Bongso, T.A.; Wettimuny, S.G.; Edirisinghe, R.; Kumaratileke, L. 1978. Determination of fetal sex in cattle by cytologic examination of amniotic fluid. Am. J. Vet. Res. 39:1545–1546.

Bonzer, B.J.; Plumart, P.E. 1976. A five year summary of egg production feed costs and conversion. Poult. Sci. 55:2010.

Bortolozzi, J.; Hines, H.C. 1982. Histocompatibility antigens and disease resistance in Jersey breed of cattle. C.R. 2e Congr. Mond. Génét. Appl. Prod. Anim., Madrid, 7:325–330.

Brackett, B.G. 1981. Applications of in vitro fertilization. Pages 141–162 *in* Brackett, B.G.; Seidel, G.E., Jr.; Seidel, S., éditeurs. New technologies in animal breeding. Academic Press, New York (N.Y.).

Bradford, G.E. 1967. Genetic and economic aspects of selecting for lamb carcass quality. J. Anim. Sci. 26:10–15.

Bradford, G.E.; Chapman, A.B.; Grummer, R.H. 1958. Inbreeding selection, linecrossing and topcrossing in swine I, II & III. J. Anim. Sci. 17:426–467.

Brem, G.; Brenig, B.; Goodman, H.M.; Selden, R.C.; Graf, F; Kruff, B.; Springmann, K.; Hondele, J.; Meyer, J.; Winnacker, E.-L.; Krausslich, H. 1986. Gene transfer in rabbits and pigs. C.R. 3e Congr. Mond. Génét. Appl. Prod. Anim., Lincoln (Neb.), 12:45–50.

Brigden, J.L.; Riddell, C. 1975. A survey of mortality in four broiler flocks in Western Canada. Can. Vet. J. 16:194–200.

Briles, W.E. 1949. Heterozygosity of inbred lines of chickens at loci affecting the red cell antigens. Poult. Sci. 28:759.

Briles, W.E. 1960. Blood groups in chickens, their nature and utilization. World's Poult. Sci. J. 16:223–242.

Briles, W.E.; Allen, C.P. 1961. The B blood group system of chickens II. The effects of genotype on livability and egg production in seven commercial inbred lines. Genetics 46:1273–1293.

Briles, W.E.; Stone, H.A.; Cole, R.K. 1977. Marek's disease: Effects of B histocompatibility alloalleles in resistant and susceptible chicken lines. Science 195:193–195.

Brinster, R.L.; Chen, H.Y.; Trumbaner, M.; Senear, A.W.; Warren, R.; Palmiter, R.D. 1981. Somatic expression of herpes tymidic kinase in mice following injection of a fusion gene into eggs. Cell 27:223–231.

Buss, E.G.; Leach, R.M., Jr.; Stout, J.T. 1977. Egg shell quality for chickens in selected lines, F_1's and F_2's. Poult. Sci. 56:1699–1700.

Butler, W.R.; Boyd, R.D. 1983. Relaxin enhances synchronization of parturition induced with prostaglandin F_2 in swine. Biol. Reprod. 28:1061–1065.

Caldwell, J.; Bryan, C.F.; Cumberland, P.A.; Weseli, D.F. 1977. Seriologically detected lymphocyte antigens in Holstein cattle. Anim. Blood Groups Biochem. Genet. 8:187–207.

Caldwell, J.; Cumberland, P.A. 1978. Cattle lymphocyte antigens. Transplant. Proc. 10:889–892.

Carter, M.L.; Dierschke, D.J.; Rutledge, J.J.; Hauser, E.R. 1980. Effect of gonadotropin-release hormone and calf removal on pituitary–ovarian function and reproductive performance in postpartum beef cows. J. Anim. Sci. 51:903–910.

Cartwright, T.C.; Fitzhugh, H.A.; Long, C.R. 1975. Systems analysis of sources of genetic and environmental variation in efficiency of beef production: Mating plans. J. Anim. Sci. 40:433–443.

Celis, J.E.; Kaltoft, K.; Bravo, R. 1980. Microinjection of somatic cells with micropipettes and PEG-erythrocyte ghost mediated microinjection. Pages 1–28 *in* Celis, J.E.; Graessmann, A.; Loyter, A., éditeurs. Transfer of cell constituents into eukaryotic cells. Plenum Press, New York (N.Y.)

Chambers, J.R.; Bernon, D.E.; Gavora, J.S. 1984. Synthesis and parameters of new populations of meat-type chickens. Theor. Appl. Genet. 69:23–30.

Chambers, J.R.; Fortin, A.; Grunder, A.A. 1983. Relationship between carcass fatness and feed efficiency and its component traits in broiler chickens. Poult Sci. 62:2201–2207.

Chambers, J.R.; Gavora, J.S. 1982. Genetic parameters of broiler traits in synthetic parent populations. Poult. Sci. 61:1434–1435 (Abstr.).

Chambers, J.R.; Gavora, J.S.; Fortin, A. 1981. Genetic changes in meat-type chickens in the last twenty years. Can. J. Anim. Sci. 61:555–563.

Chenoweth, P.J. 1983. Sexual behavior of the bull: A review. J. Dairy Sci. 66:173–179.

Chesnais, J.; Song, H.; Hartwick, P. 1986. Progrès génétique au Canada pour le lait et ses composantes. Exposé présenté à l'assemblée annuelle de l'Association canadienne des éleveurs de bétail, Montréal (Québec), septembre 1986.

Choo, K.H.; Gould, K.G.; Rees, D.J.G.; Brownlee, G.G. 1982. Molecular cloning of the gene for human anti-haemopholic factor IX. Nature (Lond) 299:178–180.

Chupin, D.; Procureur, R. 1983. Efficiency of pituitary extracts (FSH) for induction of superovulation in cattle. Anim. Reprod. Sci. 6:11–23.

Church, R.B. 1974. Molecular and reproductive biology in animal genetics. Genetics 78:511–524.

Church, R.B.; Schaufele, F.J.; Meckling, K. 1985. Embryo manipulation and gene transfer in livestock. Can. J. Anim. Sci. 65:527–558.

Church, R.B.; Shea, B.F. 1977. The role of embryo transfer in cattle improvement programs. Can. J. Anim. Sci. 57:33–45.

Churchill, A.E.; Payne, L.N.; Chubb, R.C. 1969. Immunization against Marek's disease using a live attenuated virus. Nature (Lond) 221:744–747.

Clagett, C.D.; Buss, E.G.; Tamaki, Y. 1977. Egg shell quality: Calcium metabolism in thick and thin shell genotypes. Poult. Sci. 56:1703.

Clarke, J.N.; Rae, A.L. 1977. Technical aspects of the National Sheep Recording Scheme (Sheeplan). Proc. N.Z. Soc. Anim. Prod. 37:183–197.

Clayton, G.A. 1968. Some implications of selection results in poultry. World's Poult. Sci. J. 24:37–57.

Clayton, G.A. 1972. Effects of selection on reproduction in avian species. J. Reprod. Fertil. Suppl. 15:1–21.

Clayton, G.A. 1978. Genetics in the poultry industry? World's Poult. Sci. J. 34:205–208.

Clement, L.M.; Petters, R.M. 1977. Homozygous mouse embryos produced by microsurgery. J. Exp. Zool. 201:295–302.

Cochran, W.G. 1951. Improvement by means of selection. Proc. 2nd Berkeley Symp. Math. Stat. Prob., pp. 449–470.

Cockerham, C.C. 1954. An extension of the concept of partitioning hereditary variance for analysis of covariance among relatives when epistosis is present. Genetics 39:859–882.

Comstock, R.E.; Robinson, H.F. 1948. The components of genetic variance in populations. Biometrics 4:254–266.

Comstock, R.E.; Robinson, H.F.; Harvey, P.H. 1949. A breeding procedure designed to make maximum use of both general and specific combining ability. Agron. J. 41:360–367.

Constantini, F.; Lacy, E. 1981. Introduction of a rabbit beta-globin gene into the mouse germ line. Nature (Lond) 294 (5836):93–94.

Constantini, F.; Lacy, E. 1982. Gene transfer into the mouse germline. J. Cell. Pysiol. Suppl. 1:219–226.

Craig, J.V.; McDermid, E.M. 1963. Prolonged skin homograft survival and erythrocyte (B-locus) antigens in young chicks. Transplantation 1:191–200.

Crawford, R.D. 1984. Assessment and conservation of animal genetic resources in Canada. Can. J. Anim. Sci. 64:235–251.

Crittenden, L.B. 1975. Two levels of genetic resistance to lymphoid leukosis. Avian Dis. 19:281–292.

Crittenden, L.B.; Briles, W.E.; Stone, H.A. 1970. Susceptibility to an avian leukosis-sarcoma virus: Close association with an erythrocyte isoantigen. Science 169:1324–1325.

Crittenden, L.B.; Gavora, J.S. 1986. Genetic resistance to virus diseases. C.R. 3e Congr. Mond. Génét. Appl. Prod. Anim., Lincoln (Neb.), 11:624–634.

Crittenden, L.B.; Salter, D.W. 1985. Genetic engineering to improve resistance to viral diseases of poultry: A model for application to livestock improvement. Can. J. Anim. Sci. 65:553–652.

Croston, D.; Danell, O.; Elsen, J.M.; Flamant, J.C.; Hanrahan, J.P.; Jakubec, V.; Nitter, G.; Trodahl, S. 1980. A review of sheep recording and evaluation of breeding animals in European countries: A group report. Livest. Prod. Sci. 7:373–392.

Crow, J.F. 1948. Alternative hypothesis of hybrid vigour. Genetics 33:477–487.

Crump, S.L. 1951. The present status of variance component analysis. Biometrics 7:1–16.

Cunningham, P.J.; England, M.E.; Young, L.D.; Zimmerman, D.R. 1979. Selection for ovulation rate in swine: Correlated response in litter size and weight. J. Anim. Sci. 48:509–516.

Curnow, R.N. 1961. The estimation of repeatability and heritability from records subject to culling. Biometrics 17:553–566.

Darwin, C. 1872. De l'origine des espèces au moyen de la sélection naturelle, ou la lutte pour l'existence dans la nature. Paris.

Deeley, R.G.; Mullinix, K.P.; Wetekam, W.; Kronenberg, H.M.; Meyers, M.; Eldridge, J.D.; Goldberger, R.F. 1975. Vitellogenin synthesis in the avian liver: Vitellogenin is the precursor of the egg yolk phosphoproteins. J. Biol. Chem. 250:9060–9066.

Dempster, E.R.; Lerner, J.M. 1947. The optimum structure of breeding flocks. I. Rate of genetic improvement under different breeding plans. II. Methods of determination. Genetics 32:555–579.

Dettmers, A.E.; Rempel, W.E.; Comstock, R.E. 1965. Selection for small size in swine. J. Anim. Sci. 24:216–220.

Dickerson, G.E. 1947. Composition of hog carcasses as influenced by heritable differences in economy of gain. Iowa Agric. Exp. Stn. Res. Bull 354:489–524.

Dickerson, G.E. 1965. Random sample performance testing of poultry in the U.S.A. World's Poult. Sci. J. 21:345–357.

Dickerson, G.E. 1976. Pages 449–462 *in* Lister, D. et al. Meat animals: Growth and productivity. Plenum Press, New York (N.Y.).

Dickerson, G.E. 1977. Crossbreeding evaluation of Finnsheep and some U.S. breeds for market lamb production. North Central Reg. Publ. No. 246. Agricultural Research Service, U.S. Dep. Agric. and Univ. Nebraska, Lincoln.

Dickerson, G.E.; Hazel, L.N. 1944. Effectiveness of selection on progeny performance as a supplement to earlier culling in livestock. J. Agric. Res. 69:459–476.

Dickerson, G.E.; Mather, F.B. 1976. Evidence concerning genetic improvement in commercial stocks of layers. Poult. Sci. 55:2327–2342.

Dickerson, G.E.; Willham, R.L. 1983. Quantitative genetic engineering of more efficient animal production. J. Anim. Sci. (Suppl. 2) 57:248–264.

Dickinson, A.G. 1976. Scrapie in sheep and goats. *In* Kimberlin, R.H., éditeur. Slow virus diseases of animals and man. North Holland Publishing Co.

Dickinson, A.G.; Fraser, H. 1979. An assessment of the genetics of scrapie in sheep and mice. Slow Transm. Dis. Nerv. Syst. 1:367–385.

Dickinson, E.G.; Stevens, J.D.; Helfer, D.H. 1968. A degenerative myopathy in turkeys. Proc. 17th West. Poult. Dis. Conf. Univ. Calif., Davis (Calif.).

Dufour, J.J.; Fahmy, M.H. 1975. Embryonic mortality and development during early pregnancy in three breeds of swine with purebred and crossbred litters. Can. J. Anim. Sci. 55:9–15.

Duckworth, J.E.; Holmes, W. 1968. Selection for carcass length in Large White pigs. Anim. Prod. 10:359–372.

Dziuk, P.J. 1968. Effect of number of embryos and uterine space on embryo survival in the pig. J. Anim. Sci. 27:673–676.

Edgell, N.H.; Weaver, S.; Hzipwood, N.; Hutchison, C.A., III. 1979. Gene enrichment. Pages 37–49 *in* Setlow, J.K.; Hollaender, A., éditeurs. Genetic engineering: Principles and methods, vol. I. Plenum Press, New York (N.Y.).

Edwards, H.M., Jr.; Denman, F. 1975. Carcass composition studies 2. Influence of breed, sex and diet on gross composition of the carcass and fatty acid composition of the adipose tissue. Poult. Sci. 54:1230–1238.

Eikelenboom, G.; Minkema, D. 1974. Prediction of pale, soft, exudative muscle with a non lethal test for halothane-induced porcine malignant hyperthermia syndrome. Tijdschr. Diergeneeskd. 99:421–426.

Eikje, E.D. 1975. Studies on sheep production records. VIII. Estimation of genetic change. Acta Agric. Scand. 25:253–260.

Elce, J.S.; McIntyre, E.J. 1982. Purification of bovine and human acrosin. Can. J. Biochem. 60:8–14.

Elsden, R.P.; Nelson, L.D.; Seidel, G. 1978. Superovulating cows with follicle stimulating hormone and pregnant mare serum gonadotropin. Theriogenology 9:17–26.

Fahmy, M.H.; Bernard, C. 1971. Causes of mortality in Yorkshire pigs from birth to 20 weeks of age. Can. J. Anim. Sci. 51:351–359.

Fahmy, M.H.; Bernard, C.S. 1978. Selection for high haemoglobin level in piglets to develop an anemic-resistant line of swine. Livest. Prod. Sci. 5:225–230.

Fairfull, R.W.; Gowe, R.S. 1979. Feed consumption and feed efficiency in selected and control strains of egg stocks under long term selection for a complex of economic traits. Pages 230–245 *in* Robertson, A., éditeur. Selection experiments in laboratory and domestic animals. Commonwealth Agricultural Bureau, Farnham Royal, Slough (Angleterre).

Falconer, D.S. 1960. Introduction to quantitative genetics. Oliver & Boyd, Edimbourg.

FAO, 1980. Tolérance du bétail aux trypanosomiases dans l'Ouest et le Centre de l'Afrique. Document 20/1 sur la production et la santé des animaux.

FAO–OMS–OIE. Annuaire 1986 de la santé animale. Doc. n° 19 dans la série sur la production et la santé des animaux.

Farr, A.J.; Hebert, J.A.; Johnson, W.A. 1977. Studies on the effects of dietary energy levels and commercial broiler strains on live bird, dry carcass and abdominal fat weights. Poult. Sci. 56:1713 (Abstr.).

Fenton, F.R.; Schwartz, F.L.; Bazer, F.W.; Robison, O.W.; Ulberg, L.C. 1972. Stage of gestation when uterine capacity limits embryo survival in gilts. J. Anim. Sci. 35:383–388.

Fiser, P.S.; Chambers, J.R. 1981. Determination of male fertility in thirteen commercial lines of broiler parents. Poult. Sci. 60:2316–2321.

Fisher, R.A. 1918. The correlation between relatives on the supposition of Mendelian inheritance. Trans. R. Soc. Edinb. 52:399–433.

Fisher, R.A. 1925. Statistical Methods for Research Workers. Oliver & Boyd, Édimbourg.

Flock, D.K. 1978. Commercial breeding of laying type chickens. Lohmann Information, Cuxhaven (Allemagne de l'Ouest).

Flock, D.K. 1979. Genetic improvement of egg production in laying type chickens. Pages 214–224 *in* Robertson, A., éditeur. Selection experiments in laboratory and domestic animals. Proc. Symp. Commonwealth Agricultural Bureau, Farnham Royal, Slough (Angleterre).

Foote, R.H. 1981. The artificial insemination industry. Pages 14–40 *in* Brackett, B.G.; Seidel, G., Jr.; Seidel, S.M., éditeurs. New technologies in animal breeding. Academic Press, New York (N.Y.).

Foote, R.H. 1982. Cryopreservation of spermatozoa and artificial insemination: Past, present and future. J. Androl. 3:85–100.

Foster, W.H.; Weatherup, S.T.C. 1977. An estimation of the advances achieved over seven years by selection within commercial egg-laying breeds. World's Poult. Sci. J. 33:133–139.

Foulley, J.L.; Calomiti, S.; Gianola, D. 1982. Écriture des équations du BLUP multicaractères. Ann. Genet. Sel. Anim. 14:309–326.

Fox, S. 1978. The status and significance of random sample testing in Europe. World's Poult. Sci. J. 34:28–37.

Fox, T.W.; Bohren, B.B. 1954. An analysis of feed efficiency among breeds of chickens and its relationship to rate of growth. Poult. Sci. 33:549–561.

Fredeen, H.T. 1976. Performance responses to selection for growth rate and minimum fat in a pig population. Proc. 25th Nat. Poult. Breed. Roundtable, Kansas City, pp. 117–126.

Fredeen, H.T. 1977. Animal breeding today—its dimensions and accomplishments. Can. J. Genet. Cytol. 19:193–210.

Fredeen, H.T. 1984. Selection limits: Have they been reached with pigs? Can. J. Anim. Sci. 64:223–234.

Fredeen, H.T.; Martin, A.H.; L'hirondelle, P.J. 1981. Tissue composition of Canada A beef carcasses and implications in estimating dietary intake of fat and lean. Can. J. Anim. Sci. 61:883–891.

Fredeen, H.T.; Weiss, G.M.; Lawson, J.E.; Newman, J.A.; Rahnefeld, G.W. 1982*a*. Environmental and genetic effects on preweaning

performance of calves from first-cross cows. I. Calving ease and preweaning mortality. Can. J. Anim. Sci. 62:35–49.

Fredeen, H.T.; Weiss, G.M.; Rahnefeld, G.W.; Lawson, J.E.; Newman, J.A. 1982*b*. Environmental and genetic effects on preweaning performance of calves from first-cross cows. II. Growth traits. Can. J. Anim. Sci. 62:51–67.

Freeman, A.E. 1967. Genetic aspects of the efficiency of nutrient utilization for milk production. J. Anim. Sci. 26:976.

Freeman, A.E. 1980. Impact of sire evaluation on dairy cattle breeding. Exposé présenté aux symposium et assemblée annuelle de la Beef Improvement Federation, Denver (Col.), avril 1980.

Friars, G.W.; Chambers, J.R.; Kennedy, A.; Smith, A.D. 1972. Selection for resistance to Marek's disease in conjunction with other economic traits in chickens. Avian Dis. 16:2–10.

Friars, G.W.; Fairfull, R.W.; Gavora, J.S.; Gowe, R.S. 1978. Egg solids yields in selected and control strains at different ages. 16th World's Poult. Congr. 9:1612–1617.

Galton, F. 1897. The average contribution of several ancestors to the total heritage of the offspring. Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci. 61:401–413.

Garner, D.L.; Gledhill, B.L.; Pinkel, D.; Lake, S.; Stephenson, D.; van Dilla, M.A.; Johnson, L.A. 1983. Quantification of the X- and Y-chromosome-bearing spermatozoa of domestic animals by flow cytometry. Biol. Reprod. 28:312–321.

Garverick, H.A.; Elmore, R.G.; Vaillancourt, D.H.; Sharp, A.J. 1980. Ovarian response to gonadotropin-releasing hormone in postpartum dairy cows. Am. J. Vet. Res. 41:1582–1585.

Gavora, J.S. 1982. Introduction to Plenary Session. III. Disease Resistance. C.R. 2e Congr. Mond. Génét. Appl. Prod. Anim., Madrid, 5:143–149.

Gavora, J.S.; Chesnais, J.; Spencer, J.L. 1983. Estimation of variance components and heritability in populations affected by disease: Lymphoid leukosis in chickens. Theor. Appl. Genet. 65:317–322.

Gavora, J.S.; Longenecker, B.M.; Spencer, J.L.; Grunder, A.A. 1982*a*. New histocompatibility haplotypes and Marek's disease in chickens. C.R. 2e Congr. Mond. Génét. Appl. Prod. Anim., Madrid, 7:357–361.

Gavora, J.S.; Simonson, M.; Spencer, J.L.; Fairfull, R.W.; Gowe, R.S. 1986. Changes in the frequency of major histocompatibility haplotypes in chickens under selection for both high egg production and resistance to Marek's disease. J. Anim. Breed. Genet. 103:218–226.

Gavora, J.S.; Spencer, J.L. 1978. Breeding for genetic resistance to disease: Specific or general. World's Poult. Sci. J. 34:137–148.

Gavora, J.S.; Spencer, J.L. 1979. Studies on genetic resistance of chickens to Marek's disease—a review. Comp. Immunol. Microbiol. Infect. Dis. 2:359–371.

Gavora, J.S.; Spencer, J.L. 1983. Breeding for immune responsiveness and disease resistance. Anim. Blood Groups Biochem. Genet. 14:159–180.

Gavora, J.S.; Spencer, J.L. 1985. Effects of lymphoid leukosis virus infection on response to selection. Pages 17–24 *in* Hill, W.G.; Mason, J.M.; Hewitt, D., éditeurs. Poultry Genetics and Breeding. British Poultry Science Ltd.

Gavora, J.S.; Spencer, J.L.; Chambers, J.R. 1982*b*. Performance of meat-type chickens test-positive and -negative for lymphoid leukosis virus infection. Avian Pathol. 11:29–38.

Gavora, J.S.; Spencer, J.L.; Gowe, R.S.; Harris, D.L. 1980. Lymphoid leukosis virus infection: Effects on production and mortality and consequences in selection for high egg production. Poult. Sci. 59:2165–2178.

Gibbons, R.A.; Sellwood, R.; Burrows, M.; Hunter, P.A. 1977. Inheritance of resistance to neonatal *E. coli* diarrhea in the pig: Examination of the genetic system. Theor. Appl. Genet. 51:65–70.

Gill, G.S.; Allaire, F.R. 1976. Relationship of age at first calving, days open, days dry and herdlife to a profit function for dairy cattle. J. Dairy Sci. 59:1131–1139.

Gillings, M.R.; Frankham, R. 1982. Changing views of genomic organization. Roundtable C Genetics engineering in animal improvement. C.R. 2e Congr. Mond. Génét. Appl. Prod. Anim., Madrid, 6:164–181.

Gilmour, D.G. 1954. Selective advantage of heterozygosis for blood group genes among inbred chickens. Heredity 8:291.

Gjedrem, T. 1983. Genetic variation in quantitative traits and selective breeding in fish and shellfish. Aquaculture 33:51–72.

Goodwin, K.; Dickerson, G.E.; Lamoreux, W.F. 1959. An experimental design for separating genetic and environmental changes in animal populations under selection. Pages 117–138 *in* C.R. 4e Conf. Int. Biom. Symp. Génét. Biom. Pergamon Press, Londres.

Gordon, I. 1982. Synchronization of estrus and superovulation in cattle. Pages 63–80 *in* Adams, C.E., éditeur. Mammalian egg transfer. CRC Press, Boca Raton (Floride).

Gowe, R.S.; Fairfull, R.W. 1980. Performance of six long-term multitrait selected Leghorn strains and three control strains, and a strain cross evaluation of the selected strains. Pages 141–162 *in* Proceedings South Pacific Poultry Science Convention, Auckland (Nouvelle-Zélande).

Gowe, R.S.; Fairfull, R.W. 1984. Effect of selection for part-record number of eggs from housing vs selection for hen-day rate of production from age at first egg. Ann. Agric. Fenn. 23:196–203.

Gowe, R.S.; Fairfull, R.W. 1985. The direct response to long-term selection for multiple traits in egg stocks and changes in genetic parameters with selection. Pages 125–146 *in* Hill, W.G.; Manson, J.M.; Hewitt, D., éditeurs. Poultry genetics and breeding. Proc. of the 18th Poultry Science Symposium in Association with the 25th Poultry Breeders' Round Table, 1983. British Poultry Science, Harlow (Essex).

Gowe, R.S.; Robertson, A.; Latter, B.P. 1959. Environment and poultry breeding problems. 5. The design of poultry control strains. Poult. Sci. 38:426–471.

Gowen, J.W., éditeur. 1952. Heterosis. Iowa State College Press, Ames (Iowa).

Gray, R.C.; Tribble, L.F.; Day, B.N.; Lasley, J.F. 1968. Results of five generations of selection for low backfat thickness in swine. J. Anim. Sci. 27:331–335.

Griffing, B. 1956. A generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. Heredity 10:31–50.

Griffiths, L.; Leeson, S.; Summers, J.D. 1978. Studies on abdominal fat with four commercial strains of male broiler chicken. Poult. Sci. 57:1198–1203.

Grunder, A.A.; Guyer, R.B.; Buss, E.G.; Clagett, C.D. 1980. Calcium-binding proteins in serum: Quantitative differences between thick and thin shell lines of chickens. Poult. Sci. 59:880–884.

Grunder, A.A.; Merritt, E.S. 1977. Esterase genotypes and performance traits in meat-type chickens. Can. J. Genet. Cytol. 19:645–650.

Grunsel, C.S. 1956. Mortality and morbidity in calves. Vet. Rec. 68:788.

Guill, R.A.; Washburn, K.W. 1974. Genetic changes in efficiency of feed utilization of chicks maintaining body weight constant. Poult. Sci. 53:1146–1154.

Guillaume, J. 1976. The dwarfing gene dw: Its effects on anatomy, physiology, nutrition, management. Its application in poultry industry. World's Poult. Sci. J. 32:285–304.

Hackett, A.J.; Dwyer, R.J.; Robertson, H.A.; Wolyneta, M.S. 1982. Reproductive performance of hormonally treated sheep maintained year-round in a controlled-light environment. Can. J. Anim. Sci. 62:1109-1117.

Hafez, E.S.E.; Semm, K. 1982. In vitro fertilization and embryo transfer. Alan R. Liso, Inc., New York (N.Y.), pp. 271–383.

Hala, K.; Boyd, R.; Wick, G. 1981. Chicken major histocompatibility complex and disease. Scand. J. Immunol. 14:607–616.

Hammer, R.E.; Pursel, W.G.; Rexroad, C.E.; Wall, R.J.; Bolt, D.J.; Ebert, K.M.; Palmiter, R.D.; Brinster, R.L. 1985. Production of transgenic rabbits, sheep and pigs by microinjection. Nature 315:680–683.

Hanrahan, J.P.; Quirke, J.F. 1977. Testis size and plasma LH as aids to selection for increased fecundity in sheep. Exposé présenté à l'assemblée de la British Society of Animal Products, Harrogate (Angleterre), mars 1977.

Hansen, M. 1979. Genetic investigations on male and female fertility in cattle. Livest. Prod. Sci. 6:325–334.

Hansen, M.P.; van Zandt, J.N.; Law, G.R.J. 1967. Differences in susceptibility to Marek's disease in chickens carrying two different B locus blood group allelles. Poult. Sci. 46:1268.

Harper, J.A.; Bernier, P.E.; Helfer, D.H.; Schmitz, J.A. 1975. Degenerative myopathy of the deep pectoral muscle in the turkey. J. Hered. 66:362–366.

Harris, D.L. 1964. Genotypic covariances between inbred relatives. Genetics 50:1319–1348.

Harris, D.L.; Gavora, J.S.; Spencer, J.L. 1983. Genetic selection as influenced by congenitally and horizontally transmitted pathogens: Lymphoid leukosis in chickens. Theor. Appl. Genet. 68:397–413.

Harville, D.A. 1974. Optimal procedures for some constrained selection problems. J. Am. Stat. Assoc. 69:446–452.

Harville, D.A. 1977. Maximum likelihood approaches to variance component estimation and to related problems. J. Am. Stat. Assoc. 72:320–340.

Harville, D.A. 1978. Alternative formulations and procedures for two-way mixed model. Biometrics 34:441–453.

Hayes, J.F.; Hill, W.G. 1980. A reparameterization of a genetic selection index to locate its sampling properties. Biometrics 36:237–248.

Hayes, J.F.; Moxley, J.E. 1980. Évaluation des taureaux laitiers au CIAQ pour la protéine du lait. Conférence présentée aux journées de recherche bovine, Drummondville (Québec), 17 et 18 septembre 1980.

Hayman, B. 1954. The theory and analysis of diallel crosses I. Genetics 39:789–809.

Hayman, B. 1958. The theory and analysis of diallel crosses II. Genetics 43:63–85.

Hayman, B. 1960. The theory and analysis of diallel crosses III. Genetics 45:155–172.

Hazel, L.N. 1943. The genetic basis for constructing selection indexes. Genetics 28:476–490.

Hazel, L.N. 1946. The covariance analysis of multiple classification tables with unequal subclass numbers. Biom. Bull. 2:21–25.

Hazel, L.N.; Lamoreaux, W.F. 1947. Heritability, maternal effects and nicking in relation to sexual maturity and body weights in White Leghorns. Poult. Sci. 26:508–514.

Hazel, L.N.; Lush, J.L. 1942. The efficiency of three methods of selection. J. Hered. 41:301–306.

Heaney, D.P.; Ainsworth, L.; Batra, T.R.; Fiser, P.S.; Fortin, A.; Hartin, K.E.; Langford, G.A.; Lee, A.J. 1980. Research for intensive total confinement sheep production system, Bulletin n° 2 du Centre de recherches zootechniques, Agriculture Canada.

Heldman, D. 1981. Trends in dairy food engineering. J. Dairy Sci. 64:1096–1102.

Hemer, D.H. 1980. DNA cloning in mammalian cells with SV40 vectors. Pages 83–101 *in* Seelow, J.K.; Hollander, A., éditeurs. Genetic engineering: Principles and methods. Plenum Press, New York (N.Y.).

Henderson, C.R. 1953. Estimation of variance and covariance components. Biometrics 9:226–252.

Henderson, C.R. 1963. Selection index and expected genetic advance in statistical genetics and plant breeding. Nat. Acad. Sci. Nat. Res. Counc. Publ. 982:141 ff.

Henderson, C.R. 1973. Sire evaluation and genetic trends. Proceedings Animal Breeding and Genetics Symposium in honor of Dr. J.L. Lush. Am. Soc. Anim. Sci., Champaign (Ill.).

Henderson, C.R. 1975*a*. Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model. Biometrics 31:423–447.

Henderson, C.R. 1975*b*. Rapid method for computing the inverse of a relationship matrix. J. Dairy Sci. 58:1727–1730.

Henderson, C.R. 1976. A simple method for computing the inverse of a numerator relationship matrix used in prediction of breeding values. Biometrics 32:69–84.

Henderson, C.R.; Kempthorne, O.; Scarle, S.R.; von Krosigk, C.M. 1959. The estimation of environmental and genetic trends from records subject to culling. Biometrics 15:192–218.

Henderson, C.R.; Quaas, R.L. 1976. Multiple trait evaluation using relatives records. J. Anim. Sci. 43:1188–1197.

Hetzer, H.O.; Harvey, W.R. 1967. Selection for high and low fatness in swine. J. Anim. Sci. 26:1244–1251.

Hewetson, R.W.; Nolan, J. 1968. Resistance of cattle to tick *Boophilus microplus* (Canestrini). J. Parasitol. 54:657–662.

Hickman, C.G.; Freeman, A.E. 1968. New approach to experimental designs for selection studies in dairy cattle and other species. J. Dairy Sci. 52:1044–1054.

Hill, W.G. 1971*a*. Design and efficiency of selection experiments for estimating genetic parameters. Biometrics 27:293–312.

Hill, W.G. 1971*b*. Investment appraisal for national breeding programmes. Anim. Prod. 13:37–50.

Hill, W.G. 1972*a*. Estimation of realised heritabilities from selection experiments. I. Divergent Selection. Biometrics 28:747–765.

Hill, W.G. 1972*b*. Estimation of realised heritabilities from selection experiments. II. Selection in one direction. Biometrics 28:767–780.

Hill, W.G.; Land, R.B. 1976. Superovulation and ovum transplantation in genetic improvement programs. Pages 353–363 *in* Rowson, E.A., éditeur. Egg transfer in cattle. Luxembourg.

Hill, W.G.; Nicholas, F.W. 1974. Estimation of heritability by both regression on parent and intra-class correlation of sibs in one experiment. Biometrics 30:447–468.

Hill, W.G.; Thompson, R. 1977. Design of experiments to estimate offspring–parent regression using selected parents. Anim. Prod. 24:164–168.

Hintz, R.L.; Everett, R.W.; van Vleck, L.D. 1978. Estimation of genetic trends from cow and sire evaluation. J. Dairy Sci. 61:607–613.

Hodges, J. 1986. Animal genetic resources in the developing world: Goals, strategies, management and current status. C.R. 3e Congr. Mond. Génét. Appl. Prod. Anim., Lincoln (Neb.), 12:474–485.

Hollands, K.G.; Grunder, A.A.; Gavora, J.S. 1986. Divergent selection for incidence of degenerative myopathy of the *Musculus supracoracoideus* of meat-type chickens. Poult. Sci. 65:417–425.

Hollands, K.G.; Grunder, A.A.; Williams, C.J.; Gavora, J.S.; Chambers, J.R.; Cave, N.A.G. 1981. Degenerative myopathy in the meat type poultry: Its effect on production traits in chickens and its identification in live turkeys. Pages 337–344 *in* Quality of poultry meat. C.R. 5e Symp. Eur., Apeldoorn (Pays-Bas).

Hooven, N.W., Jr.; Miller, R.H.; Plowman, R.D. 1968. Genetic and environmental relationships among efficiency, yield, consumption and weight of Holstein cows. J. Dairy Sci. 51:1409–1419.

Hoppe, P.C.; Illmensee, K. 1977. Microsurgically produced homozygous-diploid uniparental mice. Proc. Nat. Acad. Sci. USA 74:5657–5661.

Hoque, M.; Hodges, J. 1980. Genetic and phenotypic parameters of lifetime production traits in Holstein cows. J. Dairy Sci. 63:1900–1910.

Hudson, G.F.S.; Schaefler, L.R.; Wilton, J.W. 1980. Alternative progeny testing programs for weaning weight and ease of calving in beef cattle. Can. J. Anim. Sci. 60:609–620.

Hunton, P. 1984. Selection limits: Have they been reached in the poultry industry? Can. J. Anim. Sci. 64:217–221.

Hurnik, J.F. 1983. Infra-red scanning of postpartum dairy cows during periestrus period. Rés. 5e Conf. Mond. Prod. Anim., Tokyo, p. 92.

Hutt, F.B. 1958. Genetic resistance to disease in domestic animals. Comstock Publishing Associates, Ithaca (N.Y.).

Illmensee, K.; Hoppe, P.C. 1981. Nuclear transplantation in Mas misculas: Developmental potential of nuclei from preimplantation embryo. Cell 23:9–18.

Izard, M.K.; Vanderbergh, J.G. 1982. Priming pheronomes from oestrous cows increase synchronization of oestrus in dairy heifers after PGF-2 injection. J. Reprod. Fertil. 66:189–196.

Jacob, F.; Monod, J. 1961. Genetic regulatory mechanisms in the synthesis of proteins. J. Mol. Biol. 3:318–356.

Japp, R.G.; Hohammadian, M. 1969. Sex-linked dwarfism and egg production of broiler dams. Poult. Sci. 48:344–346.

Japp, R.G.; Muir, F.V. 1968. Erratic oviposition and egg defects in broiler-type pullets. Poult. Sci. 47:417–423.

Jeffreys, A.J.; Wilson, W.; Thein, S.L. 1985. Individual-specific "fingerprints" of human DNA. Nature (Lond) 316:76–79.

Jeyendran, R.S.; Graham, E.F.; Schmehl, M.K.L. 1981. Fertility of dehydrated bull semen. Cryobiology 18:292–300.

Johnson, R.K. 1981. Crossbreeding in swine: Experimental results. J. Anim. Sci. 52:906–923.

Junst, S.B.; Christian, L.L.; Kuhlers, D.L. 1981. Response to selection for feed efficiency in individually fed Yorkshire boars. J. Anim. Sci. 53:323–331.

Kanagawa, H. 1983. The problems and future possibilities of embryo preservation in cattle. Pages 213–236 *in* Proc. Int. Symp. Beef Prod., Kyoto (Japon).

Kang, Y.; Jimenez-Flores, R.; Richardson, T. 1986. Casein genes and genetic engineering of the caseins. Pages 95–111 *in* Evans, J.W.;

Hollander, A., éditeurs. Genetic engineering of animals. Plenum Press, New York (N.Y.).

Katz, D.F.; Bloom, T.D.; Bondurant, R.H. 1981. Movement of bull spermatozoa in cervical mucus. Biol. Reprod. 25:931–937.

Kawamura, H.; King, D.J.; Anderson, D.P. 1969. A herpesvirus isolated from kidney cell culture of normal turkeys. Avian Dis. 13:853–863.

Kempthorne, O. 1954. The correlation between relatives in a random mating population. Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci. 143:103–113.

Kempthorne, O. 1957. An introduction to genetic statistics. J. Wiley & Sons, New York (N.Y.).

Kempthorne, O.; Nordskog, A.W. 1959. Restricted selection indexes. Biometrics 15:10–19.

Kennedy, B.W. 1984. Selection limits: Have they been reached with the dairy cow? Can. J. Anim. Sci. 64:207–215.

Kennedy, B.W.; Moxley, J.E. 1975. Genetic trends among artificially bred Holsteins in Quebec. J. Dairy Sci. 58:1871–1875.

Kennedy, B.W.; Moxley, J.W. 1980. Genetic factors influencing strophic rhinitis in the pig. Anim. Prod. 30:277–283.

Kimberlin, R.H. 1979. An assessment of genetical methods in the control of scrapie. Livest. Prod. Sci. 6:233–242.

Kinney, T.B., Jr. 1969. A summary of reported estimates of heritabilities and of genetic and phenotypic correlations for traits of chickens. Agricultural Handbook No. 363, Agricultural Research Service, U.S. Dep. Agric.

Koch, R.M. 1978. Selection in beef cattle. III. Correlated response of carcass traits to selection for weaning weight, yearling weight and muscling score in cattle. J. Anim. Sci. 47:142.

Koch, R.M.; Cundiff, L.V.; Gregory, K.E. 1982. Heritabilities and genetic, environmental and phenotypic correlations of carcass traits in a population of diverse biological types and their implications in selection programs. J. Anim. Sci. 55:1319.

Koch, R.M.; Dikeman, M.E.; Allen, D.M.; May, M.; Crouse, J.D.; Campion, D.R. 1976. Characterization of biological types of cattle. III. Carcass composition, quality and palatability. J. Anim. Sci. 43:48.

Koch, R.M.; Dikeman, M.E.; Grodzki, H.; Crouse, J.D.; Cundiff, L.V. 1983. Individual and maternal genetic effects for beef carcass traits of breeds representing diverse biological types (Cycle 1). J. Anim. Sci. 57:1124.

Koch, R.M.; Dikeman, M.E.; Lipsey, R.J.; Allen, D.M.; Crouse, J.D. 1979. Characterization of biological types of cattle-cycle II;III.

Carcass composition, quality and palatability. J. Anim. Sci. 49:448.

Kraay, G.J. 1968. Hardy-Weinberg equilibrium on blood group loci in the Dutch Black and White cattle breed. Z. Tierz. Zuechtungsbiol. 85:47–63.

Kristjansson, F.K. 1961. Genetic control of three haploglobins in pigs. Genetics 46:907–910.

Land, R.B. 1973. The expression of female sex-limited characters in the male. Nature (Lond) 241:208–209.

Land, R.B. 1977*a*. The genetics of breed improvement. Pages 57–59 *in* Betteridge, K.J., éditeur. Embryo transfer in farm animals. Agric. Can. Monog. 16.

Land, R.B. 1977*b*. Genetic variation and improvement. Pages 577–604 *in* Cole, H.H.; Cupps, P.T., éditeurs. Reproduction in domestic animals. Academic Press, New York (N.Y.).

Land, R.B. 1986. Genetic resource requirements under favorable production marketing systems: Priorities and organisation. C.R. 3e Congr. Mond. Génét. Appl. Prod. Anim., Lincoln (Neb.), 12:486–491.

Land, R.B.; Carr, W.R. 1975. Testis growth and plasma LH concentration following hemicastration and its relation with female prolificacy in sheep. J. Reprod. Fertil. 45:495–501.

Land, R.B.; Lee, G.J. 1876. Testis growth, a possible genetic predictor of female reproductivity. Anim. Prod. 22:137 (Abstr.).

Landra, C.A.; Almquist, J.O.; Amann, R.P. 1980. Factors influencing Sephadex separation of bovine and ovine spermatozoa. J. Dairy Sci. 63:277–282.

Langford, G.A. 1982. Influence of PMSG and time of artificial insemination on fertility of progesterone-treated sheep in confinement. J. Anim. Sci. 54:1205–1211.

Laster, D.B.; Gregory, K.E. 1973. Factors influencing pre- and postnatal calf mortality. J. Anim. Sci. 37:734.

Lawson, J.E.; Fredeen, H.T.; Newman, J.A.; Rahnefeld, G.W. 1980. Crosses of three exotic and three British breeds: Performance in two environments of two-year-old cows and their calves. Can. J. Anim. Sci. 60:811–824.

Lax, J.; Chapman, A.B.; Pope, A.L.; Baker, R.L.; Bradley, B.P. 1979. Comparison of single trait and index selection in sheep. J. Anim. Sci. 48:776–788.

Lazary, S.; deWeck, A.L.; Bullen, S.; Straub, R.; Gerber, H. 1980. Equine leucocyte antigen system. I. Seriological studies. Transplantation 30:203–209.

Leclercq, B.; Blum, J.C.; Boyer, J.P. 1980. Selecting broilers for low or high abdominal fat: Initial observations. Br. Poult. Sci. 21:107–113.

Lecocq, A.L. 1982. Scrapie agent looks like a gene-less virus. Recherche (Paris) 13:1072–1073.

Lee, A.J. 1979. Mixed model, multiple trait evaluation of related sires when all traits are recorded. J. Anim. Sci. 48:1079–1088.

Lee, A.J. 1983. Simplified sire evaluation for multiple traits. J. Dairy Sci. 66:(Suppl.)119 (Abstr.).

Leeson, S.; Summers, J.D. 1980. Production and carcass characteristics of the broiler chicken. Poult. Sci. 59:786–798.

Legault, C.; Caritez, J.C. 1983. L'expérimentation sur le porc chinois en France. I. Performances de reproduction en race pure et en croisement. Gen. Sel. Evol. 15:225–240.

Legault, C.; Gruand, J.; Bolet, G. 1981. Résultats de l'utilisation en race pure et en croisement de la lignée dite «Hyperprolifique». J. Rech. Porcine Fr. 13:225–260.

Legault, C.; Gruand, J. 1976. Amélioration de la prolificité des truies par la création d'une lignée «Hyperprolifique» et l'usage de l'insémination artificielle, principe et résultats expérimentaux préliminaires. J. Rech. Porcine Fr. 8:201–206.

Leibo, S.P. 1981. Preservation of ova and embryo by freezing. Pages 127–140 *in* Brackett, B.G.; Seidel, G.E.; Seidel, S.M., éditeurs. New technologies in animal breeding. Academic Press, New York (N.Y.).

Leipold, H.W. 1986. Causes, nature, effect and diagnosis of bovine congenital defects. C.R. 14e Congr. Mond. Malad. Bov. Dublin (Irlande). 26–29 août 1986, I:63–74.

Lerner, I.M. 1950. Population Genetics and Animal Improvement. Cambridge University Press (Angleterre).

Lerner, I.M. 1954. Genetic Homeostasis. Oliver & Boyd, Edimbourg.

Lerner, I.M. 1958. The genetic basis of selection. J. Wiley & Sons, New York (N.Y.).

Lewin, R. 1983. Myoglobin gene is a big surprise. Science 219:1312.

Lewontin, R.C. 1978. Molecular approaches to the study of genetic variation. Proc. 27th Nat. Poult. Breed. Roundtable, Poult. Breed. Amer., Arlington (Virginie), pp. 130–139.

Leymaster, K.A., Swiger, L.A.; Harvey, W.R. 1979. Selection for increased leanness of Yorkshire swine. II. Population parameters, inbreeding effects and response to selection. J. Anim. Sci. 48:800–809.

Lin, C.Y.; Allaire, F.R. 1978. Efficiency of selection on milk yield to a fixed age. J. Dairy Sci. 61:489–496.

Lindenmaier, W.; Hauser, H.; de Wilke, I.G.; Schutz, G. 1982. Gene shuttling: Moving of cloned DNA into and out of eukaryotic cells. Nucl. Acids Res. 10:1243–1256.

Lindhe, B. 1968. Model simulation of AI breeding within a dual purpose breed of cattle. Acta Agric. Scand. 18:33–41.

Longenecker, B.M.; Pazderka, F.; Gavora, J.S.; Spencer, J.L.; Ruth, R.F. 1976. Lymphoma induced by herpesvirus: Resistance associated with a major histocompatibility gene. Immunogenetics 3:401–407.

Lunstra, D.D.; Echternkamp, S.E. 1982. Puberty in beef bulls: Acrosome morphology and semen quality in bulls of different breeds. J. Anim. Sci. 55:638–648.

Lush, J.L. 1937. Animal Breeding Plans. Iowa State University Press. Ames (Iowa).

Lush, J.L. 1947. Family merit and individual merit as basis for selection. Part I. Am. Nat. 81:241–261; Part II. Am. Nat. 81:362–379.

MacIver, R.M. 1971. Response to within-family selection in a small closed pig herd. Anim. Prod. 13:245–255.

Maijala, K.; Osterberg, S. 1977. Productivity of pure Finnsheep in Finland and abroad. Livest. Prod. Sci. 4:355–377.

Mair, R.B. 1963. Breeding from ewe lambs. Agriculture (Lond) 70:531–534.

Malécot, G. 1948. Les Mathématiques de l'Hérédité. Masson et Cie, Paris.

Markert, C.L.; Seidel, G.E., Jr. 1981. Parthenogenesis, identical twins, and cloning in mammals. Pages 181–200 *in* Brackett, B.G.; Seidel, G.E.; Seidel, S.M., éditeurs. New technologies in animal breeding. Academic Press, New York (N.Y.).

Marks, H.L. 1979. Growth rate and feed intake of selected and non selected broilers. Growth 43:80–90.

Marlowe, T.J.; Smith, J.H. 1971. Early prenatal death loss in pigs. J. Anim. Sci. 33:203 (Abstr.).

Marsh, R.F.; Malone, T.G.; Lancaster, W.D.; Hanson, R.P.; Semancik, J.S. 1978. Scrapie – virus, viroid or voodoo. Persistent Viruses 11:581–590.

Marth, E. 1981. Assuring the quality of milk. J. Dairy Sci. 64:1017–1022.

Martin, S.W.; Schwabe, C.W.; Franti, C.E. 1975. Dairy calf mortality rate: Characteristics of calf mortality rates in Tulare County of California. Am. J. Vet. Res. 36:1099.

Marx, J.L. 1982. Building bigger mice through gene transfer. Science 218:1208.

Mather, K. 1949. Biometrical Genetics. Methuen, Londres.

Maurer, R.R. 1978. Freezing mammalian embryos: A review of the techniques. Theriogenology 9:45–68.

Maw, A.J.G. 1954. Inherited riboflavin deficiency in chicken eggs. Poult. Sci. 33:216–217.

McAllister, A.J.; Batra, T.R.; Chesnais, J.P.; Darisse, J.P.F.; Emsley, J.A.B.; Lee, A.J.; Nagai, J.; Roy, G.L.; Vesely, J.A.; Winter, K.A. 1978. Le Projet coopératif national d'amélioration génétique des bovins laitiers. Bull. tech. n° 1 de l'IRZ, Direction générale de la recherche, Agriculture Canada, Ottawa.

McDaniel, B.T.; Cassell, B.G. 1981. Effects of embryo transfer on genetic change in dairy cattle. J. Dairy Sci. 64:2484–2492.

McDowell, R.E.; Velasco, J.A.; van Vleck, L.D.; Johnson, J.C.; Brandt, G.W.; Hollon, B.F.; McDaniel, B.T. 1974. Reproductive efficiency of purebred and crossbred dairy cattle. J. Dairy Sci. 57:220–234.

McGuirk, B.J.; Atkins, K.D. 1979. Response to selection for increased fleece weight in Merino sheep. Pages 113–117 *in* Tomes, G.J.; Robertson, D.E.; Lightfoot, R.J.; éditeurs. Sheep breeding. Révisé par Haresign, W. Butterworth, Londres.

Merritt, E.S. 1966. Estimates by sex of genetic parameters for body weight and skeletal dimensions in a random bred strain of meat type fowl. Poult. Sci. 45:118–125.

Mikami, H. 1982. Effectiveness of index selection in seven swine strains. C.R. 2e Congr. Mond. Génét. Appl. Prod. Anim., Madrid 8:488–492.

Miller, P.; van Vleck, L.D.; Henderson, C.R. 1967. Relationship among herd life, milk production and calving interval. J. Dairy Sci. 50:1283–1287.

Miller, R.H. 1982. Genetics of resistance to mastitis. C.R. 2e Congr. Mond. Génét. Appl. Prod. Anim., Madrid 5:186–198.

Millot, P. 1978. The major histocompatibility complex of sheep (OLA) and two minor loci. Anim. Blood Groups Biochem. Genet. 9:115–121.

Millot, P.; Chatelain, J.; Cathala, F. 1982. Major OLA histocompatibility complex in sheep – frequency of factors in sheep affected by scrapie or healthy sheep. Comptes rendus des sciences de l'Académie des sciences, Série III, Sciences de la vie 294-87-89.

Mina, N.S. 1978. Genetic variation of electrophoretic markers in poultry, in relation to inbreeding and production characters. Thèse de doctorat. Macquarie University, Sidney (Australie).

Moav, R.; Hill, W.G. 1966. Specialized sire and dam lines. IV. Selection within lines. Anim. Prod. 8:375–390.

Mode, C.J.; Robinson, H.F. 1959. Pleiotropism and the genetic variance and covariance. Biometrics 15:518–537.

Moore, N.W. 1982. Egg transfer in the sheep and goats. Pages 119–134 *in* Adams, C.E., éditeur. Mammalian egg transfer. CRC Press, Boca Raton (Floride).

Mulvihill, J.J. 1972. Congenital and genetic disease in domestic animals. Science 176:132–137.

Murray, M.; Trail, J.C.M. 1982. Trypano tolerance: Genetics, environmental influences and mechanisms. C.R. 2e Congr. Mond. Génét. Appl. Prod. Anim.,Madrid, 6:293–306.

Nagai, J.; Harris, D.L.; McAllister, A.J. 1980. Growth, feed efficiency and lifetime performance of crosses between lines selected for nursing ability and/or adult weight in mice. Theor. Appl. Genet. 58:59–69.

Nagai, J.; McAllister, A.J. 1982. Expected performance under repeated hybrid male cross and crisscross mating systems. Theor. Appl. Genet. 61:177–182.

Nagai, J.; McAllister, A.J. 1983. Crossbreeding systems to capitalize on heterosis for dairy cattle – A pilot experiment with mice. Rés. 5e Conf. Mond. Prod. Anim., Tokyo, p. 41.

Newcomb, R. 1982. Egg recovery and transfer in cattle. Pages 81–118 *in* Adams, C.E., éditeur. Mammalian egg transfer. CRC Press, Boca Raton (Floride).

Nicholas, F.W.; Smith, C. 1983. Increased rates of genetic change in dairy cattle by embryo transfer and splitting. Anim. Prod. 36:341–353.

Norman, H.D.; Miller, P.D.; McDaniel, B.T.; Dickinson, F.N.; Henderson, C.R. 1974. USDA-DHIA factors for standardizing 305-day lactation records for age and month of calving. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Annual Report, Regional Project NE-40.

Ohno, S. 1983. Sex control in mammals. Pages 263–274 *in* C.R. Symp. Int. Élev. Bov., Japon.

Okada, I.; Yamada Y.; Akiyama, M.; Nishimura, I.; Kamo, N. 1977. Changes in polymorphic gene frequencies in strains of chickens selected for resistance to Marek's disease. Br. P oult. Sci. 18:237–246.

Ollivier, L. 1979. Dix ans d'une expérience de sélection individuelle sur des verrats utilisés en insémination artificielle. 1. Réponses observées sur des caractères de croissance de carcasse et de qualité de viande. Ann. Genet. Sel. Anim. 9:353–377.

Ollivier, L. 1980. Estimated responses to eleven years of boar selection. Livest. Prod. Sci. 7:57–66.

Ollivier, L.; Bolet, G. 1981. La sélection sur la prolificité chez le porc: Résultats d'une expérience de sélection sur dix générations. J. Rech. Porcine Fr.:261–268.

Owen, J.B. 1971. Performance recording in sheep. Commonwealth Agricultural Bureaux, Angleterre.

Oxender, W.D.; Newman, L.E.; Morrow, D.A. 1973. Factors influencing dairy calf mortality in Michigan. J. Am. Vet. Med. Assoc. 162:458.

Ozil, J.P.; Heyman, Y.; Renard, J.P. 1982. Production of monozygotic twins by micromanipulation and cervical transfer in the cow. Vet. Rec. 110:126–127.

Padayatty, J.; Cumming, I.; Manske, C.L.; Hiquchi, R.; Woo, S; Salser, W. 1981. Cloning of chicken globin cDNA in bacterial plasmids. Gene 13:417–422.

Palmiter, R.D.; Brinster, R.L.; Hammer, R.E.; Turnbauer, M.E.; Rosefeld, M.G.; Birnberg, N.C.; Evans, R.M. 1982*a*. Dramatic growth of mice that develop from eggs microinjected with metallothionein-growth hormone fusion genes. Nature (Lond) 300:611–615.

Palmiter, R.D.; Chen, H.Y.; Brinster, R.L. 1982*b*. Differential regulation of metallothionein-thymidine kinase fusion genes in transgenic mice and their offspring. Cell 29:701–710.

Payne, L.N. 1985. Genetics of cell receptors for avian retroviruses. Pages 1–16 *in* Hill, W.G.; Manson, J.M.; Hewitt, D., éditeurs. Poultry genetics and breeding. British Poultry Science Ltd.

Pearson, K. 1897. Mathematical contributions to the theory of evolution. III. Regression, heredity and panmixia. Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci. 187:253–318.

Pearson, K. 1902. I. Mathematical contributions to the theory of evolution. XI. On the influence of natural selection on the variability and correlation of organs. Philos. Trans. R. Soc. Camb. 200:1–66.

Pearson, K.; Lee, A. 1903. On laws of inheritance in man. I. Inheritance of physical characters. Biometrika 2:357–462.

Pelissier, C.L. 1976. Dairy cattle breeding problems and their consequences. Theriogenology 6:575–583.

Philipsson, J. 1981. Genetic aspects of female fertility in dairy cattle. Livest. Prod. Sci. 8:307–319.

Piper, L.R.; Bindon, B.M. 1982. Genetic segregation for fecundity in Booroola Merino sheep. Pages 395–400 *in* Barton, R.A.; Smith, W.C., éditeurs. Proceedings of World Congress on Sheep and Beef Cattle Breeding. Nouvelle-Zélande.

Plumart, P.E.; Bonzer, B.J. 1976. A five year summary of South Dakota egg production costs and income. Poult. Sci. 55:2081.

Polge, C.; Smith, A.U.; Perkes, A.S. 1949. Revival of spermatozoa after vitrification and dehydration at low temperatures. Nature (Lond) 164:666.

Ponzoni, R.W. 1979. Objectives and selection criteria for Australian Merino sheep. Proc. Inaugural Conf. Aust. Assoc. Anim. Breed. Genet., pp. 320–336.

Powell, R.L. 1981. Possible effects of embryo transfer on evaluation of cows and bulls. J. Dairy Sci. 64:2476–2483.

Preston, T.R.; Willis, M.B. 1974. Intensive beef production. Pergamon Press, Toronto.

Proudman, J.A.; Mellen, W.J.; Anderson, D.L. 1970. Utilization of feed in fast- and slow-growing lines of chickens. Poult. Sci. 49:961–972.

Pym, R.A.E.; Nicholls, P.J. 1979. Selection for food conversion in broilers: Direct and correlated responses to selection for bodyweight gain, food consumption and food conversion ratio. Br. Poult. Sci. 20:73–86.

Pym, R.A.E.; Solvyns, A.J. 1979. Selection for food conversion in broilers: Body composition of birds selected for increased body-weight gain, food consumption and food conversion ratio. Br. Poult. Sci. 20:87–97.

Rae, A.L. 1982. Breeding. Pages 15–56 *in* Coop, I.E., éditeur. Sheep and goat production. Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdam.

Rahnefeld, G.W. 1971. Mass selection for post-weaning growth in swine. II. Response to selection. Can. J. Anim. Sci. 51:497–502.

Rahnefeld, G.W.; Fredeen, H.T.; Weiss, G.M.; Lawson, J.E.; Newman, J.A. 1983. Breed of terminal sire effects on carcass characteristics of three-way cross beef cattle reared at two locations. Can. J. Anim. Sci. 65:523.

Rahman, M.F.; Konuk, T.A. 1977. A note on transferrin genotypes and their relationship with weight gain in sheep. Anim. Prod. 25:99–101.

Rasmusen, B.A.; Christian, L.L. 1976. H blood types in pigs as predictors of stress susceptibility. Science 191:947–948.

Rashid, A.M. 1982. Ovotransferrin (conalbumin) polymorphisms and economic characters in the domestic fowl. Br. Poult. Sci. 23:539–546.

Reddy, P.R.K.; Siegel, P.B. 1976. Selection for body weight at eight weeks of age. II. Ovulation and oviposition patterns. Poult. Sci. 55:1518–1530.

Reid, J.P.; Wilton, J.W.; Walton, J.S. 1986. Comparative productivity of cows after receiving two embryos at transfer. Can. J. Anim. Sci. 66:373–380.

Renard, Ch.; Vaiman, M.; Capy, P.; Seller, P. 1982. SLA markers and characters of production in the pig. C.R. 2e Congr. Mond. Génét. Appl. Prod. Anim.,Madrid, 8:570–583.

Rendel, J.M. 1959. Optimum group size in half-sib family selection. Biometrics 15:376–381.

Revelle, T.J.; Robison, O.W. 1973. One explanation for the low heritability litter size in swine. J. Anim. Sci. 37:668–675.

Rhodda, D.D.; Friars, G.W.; Gavora, J.S.; Merritt, E.S. 1977. Genetic parameter estimates and strain comparisons of egg compositional traits. Br. Poult. Sci. 18:459–473.

Ricard, F.H.; Rouvier, E. 1967. Étude de la composition anatomique du poulet. I. Variabilité de la répartition des différentes parties corporelles chez les coquelets «Bresse-pile». Ann. Zootech. (Paris) 16:23–39.

Ricard, F.H.; Rouvier, E. 1968. Étude des mesures de conformation du poulet. II. Variabilité phénotypique et génétique des mensurations de carcasse dans une souche de type Cornish. Ann. Zootech. (Paris) 17:445–458.

Ricard, F.H.; Rouvier, E. 1969. Étude de la composition anatomique du poulet. III. Variabilité de la répartition des parties corporelles dans une souche de type Cornish. Ann Genet. Sel. Anim. 1:151–165.

Richardson, G.H. 1981. Automated testing of milk. J. Dairy Sci. 64:1087–1095.

Ricordeau, G.; Tchamitchian, L.; Thimonier, J.; Flamant, J.C.; Thériez, M. 1978. First survey of results obtained in France on reproductive and maternal performance in sheep, with particular reference to the Romanov breed and crosses with it. Livest. Prod. Sci. 5:181–201.

Riddell, C. 1976. Selection of broiler chickens for a high and low incidence of tibial dyschondrophasia with observations on spondylolisthesis and twisted legs (perosis). Poult. Sci. 55:145–151.

Robertson, A. 1954. Artificial insemination and livestock improvement. Pages 451–472 *in* Advances in genetics. Academic Press, New York (N.Y.).

Robertson, A. 1957. Optimum group size in progeny testing and family selection. Biometrics 13:442–450.

Robertson, A. 1959. The sampling variance of the genetic correlation coefficient. Biometrics 15:469–485.

Robertson, A. 1966. Biochemical polymorphisms in animal improvement. C.R. 10e Conf. Eur. Polymorphismes des groupes sanguins anim., Paris, pp.35–42.

Robertson, A. 1982. Genetic engineering in animal improvement. C.R. 2e Congr. Mond. Génét. Appl. Prod. Animal, Madrid, 6:139–145.

Robertson, A.; Rendel, J.M. 1950. The use of progeny testing with artificial insemination in dairy cattle. J. Genet. 50:21–31.

Roy, J.H.B. 1980. Disease prevention in calves. Factors affecting susceptibility of calves to disease. J. Dairy Sci. 63:650–664.

Rubin, G.M.; Spradling, A.C. 1982. Genetic transformation of *Drosophila* with transposable element vectors. Science 218(4570):348–353.

Rutledge, J.J.; Seidel, G.E. 1983. Genetic engineering and animal production. J. Anim. Sci. 57 (Suppl. 2):265–272.

Salter, D.W.; Smith, E.J.; Hughes, S.H.; Wright, S.E.; Crittenden, L.B. 1986. Retroviruses as vectors for germ line insertion in the chicken. C.R. 3e Congr. Mond. Génét. Appl. Prod. Anim., Lincoln (Neb.), 12:51–56.

Sasada, H.; Sugiyama, T.; Yamashita, K.; Masaki, J. 1983. Identification of specific odor components in mature male goat during the breeding season. Jpn. J. Zootech. Sci. 54:401–408.

Sather, A.P.; Fredeen, H.T. 1978. Effect of selection for lean growth upon feed utilization by the market hog. Can. J. Anim. Sci. 58:285–289.

Schaeffer, L.R. 1980. Cow evaluation for production traits. Dept. of Animal and Poultry Science, University of Guelph (Ont.), février 1980.

Schaeffer, L.R. 1981. Estimation of genetic covariances from sire progeny test results. J. Dairy Sci. 64:546–551.

Schaeffer, L.R.; Freeman, M.G.; Burnside, E.B. 1976. Evaluation of Ontario Holstein dairy sires for milk and fat production. J. Dairy Sci. 58:109–115.

Schaeffer, L.R.; Song, H.; Wilton, J.W. 1980. The evaluation of beef bulls from an organized progeny test program. Can. J. Anim. Sci. 60:621–626.

Schaeffer, L.R.; Wilton, J.W. 1975. Predicting beef sire progeny values for growth traits from progeny records. J. Anim. Sci. 41:1592–1599.

Schaeffer, L.R.; Wilton, J.W.; Thompson, R. 1978. Simultaneous estimation of variance and covariance components from multitrait mixed model equations. Biometrics 34:199–208.

Schierman, L.W.; Nordskog, A.W. 1961. Relationship of blood type to histocompatibility in chickens. Science 134:1008–1009.

Schultz, L.H. 1969. Relationship of rearing rate of dairy heifers to mature performance. J. Dairy Sci. 52:1321–1329.

Scott, G.H. 1981. What is animal stress and how it is measured. J. Anim. Sci. 22:150–153.

Seidel, S.M.; Seidel, G.E., Jr. 1982. Embryo transfer bibliography. VIII. Theriogenology 18:141–154.

Seifert, G.W. 1971. Variation between and within breeds of cattle to field infestations of cattle tick *Boophilus microplus*. Aust. J. Agric. Res. 22:159–168.

Sellier, P. 1970. Hétérosis et croisement chez le porc. Ann. Genet. Sel. Anim. 2:145–207.

Sellier, P. 1976. The basis of crossbreeding in pigs: A review. Livest. Prod. Sci. 3:203–226.

Sellwood, R.; Gibbons, R.A.; Jones, C.W.; Rutter, J.M. 1975. Adhesion of enteropathogenic *Escherichia coli* to pig intestinal brush borders: The existence of two pig phenotypes. J. Med. Microbiol. 8:405–411.

Sheldon, B.L. 1980. Perspectives for poultry genetics in the age of molecular biology. World's Poult. Sci. J. 36:143–173.

Sheridan, A.K.; Howlett, C.R.; Burton, R.W. 1978. The inheritance of tibial dyschondroplasia in broilers. Br. Poult. Sci. 19:491–499.

Shimada, K.; Weisberg, R.A., Gottesman, M.E. 1977. Transducing viruses and viral interpretations: Techniques for genetic modification. Pages 77–82 *in* Rubenstein, I.; Phillips, R.L.; Green, C.E.; Desmick, R., éditeurs. Molecular genetic modification of eucaryotes. Academic Press, New York (N.Y.).

Shrestha, J.N.B.; Fortin, A.; Heaney, D.P. 1986*a*. Genetic and phenotypic parameters of carcass traits in ram lambs reared artificially in a controlled environment. Can. J. Anim. Sci. 66:905–914.

Shrestha, J.N.B.; Heaney, D.P. 1985. Genetic and phenotypic parameters of early growth traits of lambs reared artificially in a controlled environment. Can. J. Anim. Sci. 65:37–49.

Shrestha, J.N.B.; Peters, H.F.; Lalonde, C.; Vesely, J.A.; Greiger, H.; Chesnais, J.P.; Gillis, W.A. 1982. Canadian record of performance program for sheep. C.R. 2e Congr. Mond. Génét. Appl. Prod. Anim., Madrid, 8:625–629.

Shrestha, J.N.B.; Rempel, W.E.; Boylan, W.J.; Miller, K.P. 1983. General, specific, maternal and reciprocal effects for ewe productivity in crossing five breeds of sheep. Can. J. Anim. Sci. 63:497–509.

Shrestha, J.N.B.; Vesely, J.A.; Chesnais, J.P. 1985. Genetic and phenotypic parameters of early growth traits of lambs reared artificially in a controlled environment. Can. J. Anim. Sci. 65:37–49.

Shrestha, J.N.B.; Vesely, J.A.; Chesnais, J.P.; Cuthbertson, D. 1986*b*. Genetic and phenotypic parameters for daily gain and body weights in Dorset lambs. Can. J. Anim. Sci. 66:289–292.

Siegel, P.B. 1962. Selection for body weight at eight weeks of age. 1. Short term response and heritabilities. Poult. Sci. 41:954–962.

Siegel, P.B.; Wisman, E.L. 1966. Selection for body weight at eight weeks of age. 6. Changes in appetite and feed utilization. Poult. Sci. 45:1391–1397.

Siller, W.G.; Wight, P.A.L.; Martindale, L. 1979. Exercise-induced deep pectoral myopathy in broiler fowls and turkeys. Vet. Sci. Commun. 2:331–336.

Simonsen, M. 1982. Disease resistance and histocomptability genetics. C.R. 2e Congr. Mond. Génét. Appl. Prod. Anim., Madrid, 5:164–174.

Skjervold, H. 1963. The optimum size of progeny groups and use of young bulls in AI breeding. Acta Agric. Scand. 13:131–140.

Skjervold, H. 1982. The results of 20 years selection for production in cattle, sheep and pigs – Which way now? Future developments in the genetic improvement of animals. Academic Press, Australie. pp. 3–14.

Skjervold, H.; Langholz, H.J. 1964. Factors affecting the optimum structure of A.I. breeding in dairy cattle. Z. Tierz. Zuechtungsbiol. 80:25–40.

Slen, S.B. 1954. Production de la laine au Canada. Publication n° 906 du ministère de l'Agriculture du Canada.

Smith, C.; Simpson, P.S. 1986. The use of genetic polymorphisms in livestock improvement. J. Anim. Breed. Genet. 103:205–217.

Smith, C.; Webb, A.J. 1981. Effects of major genes on animal breeding strategies. Z. Tierz. Zuechtungsbiol. 98:161–169.

Smith, H.F. 1936. A discriminant function for plant selection. Ann. Eugen. 7:240–250.

Smith, J.W.; Legates, J.E. 1962. Relationship of days open and days dry to lactation milk and fat yield. J. Dairy Sci. 45:1192–1198.

Smithies, O. 1955. Zone electrophoresis in starch gels: Group variations in the serum proteins of normal human adults. Biochem. J. 61:629–641.

Solbu, H.; Spooner, R.L.; Lie, O. 1982. A possible influence of the bovine major histocompatibility complex (BoLA) on mastitis. C.R. 2e Congr. Mond. Génét. Appl. Prod. Anim., Madrid, 7:368–371.

Soller, M.; Beckmann, J.S. 1983. Genetic polymorphism in varietal identification and genetic improvement. Theor. Appl. Genet. 67:25–33.

Soller, M.; Snapir, N.; Schindler, H. 1965. Heritability of semen quality, concentration and motility in White Rock roasters, and their genetic correlation with rate of gain. Poult. Sci. 44:1527–1529.

Somes, R.G., Jr. 1981. International registry of poultry genetic stocks. Storrs Agric. Exp. Stn., University of Connecticut Storrs Bulletin 460.

Speicher, J.A.; Hepp, R.E. 1973. Factors associated with calf mortality in Michigan dairy herds. J. Am. Vet. Med. Assoc. 162:463.

Spencer, J.L. 1987. Laboratory diagnostic procedures for detecting avian leukosis virus infections. Pages 213–240 *in* De Boer, G.F., éditeur. Developments in veterinary virology. Avian leukosis. Martinus Nighoff Publ.

Spencer, J.L.; Gavora, J.S.; Gowe, R.S. 1979. Effect of selection for high egg production in chickens on shedding of lymphoid leukosis virus and antigen into eggs. Poultry Sci. 58:279–284.

Spencer, J.L.; Gavora, J.S.; Grunder, A.A.; Robertson, A.; Speckman, G.W. 1974. Immunization against Marek's disease: Influence of strain of chickens, maternal antibody and type of vaccine. Avian Dis. 18:33–34.

Spradling, A.C.; Rubin, G.M. 1982. Transposition of cloned P elements into *Drosophila* germ line chromosomes. Science 218:341–347.

Stanton, H.C.; Carroll, J.K. 1974. Potential mechanisms responsible for prenatal and perinatal mortality or low viability of swine. J. Anim. Sci. 38:1037–1044.

Stevenson, J.S.; Brit, J.H. 1977. Detection of estrus by three methods. J. Dairy Sci. 60:1994–1998.

Stewart, T.A.; Mintz, B. 1981. Successive generations of mice produced from an established culture line of euploid teratocarcinoma mice. Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A. 78:6314–6318.

Stewart, T.A.; Wagner, E.F.; Mintz, B. 1982. Human -globin gene sequences injected into mouse eggs, retained in adults, and transmitted to progeny. Science 217:1046–1048.

Stewart, W.E. 1979. II. The interferon system. Springer-Verlag, Vienne.

Stormont, C.; Irwin, M.R.; Owen, R.D. 1945. A probable allelic series of genes affecting cellular antigens in cattle. Genetics 30:25–26.

Stormont, C.; Suzuki, Y. 1965. Paternity tests in horses. Cornell Vet. 65:365–377.

Strange, G.S.; Smith, C. 1979. A note on the heritability of litter traits in pigs. Anim. Prod. 28:403–406.

Strasiak, A.: Di Capua, E. 1982. The helicity of DNA in complexes with RecA protein. Nature (Lond) 299:185–186.

Swanson, E.W. 1977. Effects of level of nutrition on growth, reproduction, and lactation. Proc. Georgia Nutr. Conf., p. 125.

Teather, R.M. 1985. Application of gene manipulation to rumen microflora. Can. J. Anim. Sci. 65:563–574.

Terrill, C.E. 1962. Heritability estimates: Farm animals. II. Sheep. Pages 118–121 *in* Growth: Including reproduction and morphological development. Fed. Am. Soc. Exp. Biol., Washington (D.C.).

Thompson, R. 1973. The estimation of variance and covariance components with an application when records are subject to culling. Biometrics 29:527–550.

Thompson, R. 1976. The estimation of maternal genetic variances. Biometrics 32:903–917.

Thompson, S.C. 1979. The economics of dairy farming in Canada. C.R. 1e Conf. Méd. Vét. Ouest, Saskatoon (Sask.), pp. 173–184.

Thong, T.T. 1974. La race porcine vietnamienne et son croisement avec la race Berkshire. Ann. Genet. Sel. Anim. 6:275–281.

Thorsteinsson, S.S.; Thorgeirsson, S.; Dyrmundsson, O.R. 1982. Relationship between ram testes weight and ewe fertility. Exposé présenté à l'assemblée de l'EAAP, Leningrad (URSS), août 1982.

Tizard, I. 1982. An introduction to veterinary immunology, 2nd Ed. W.B. Saunders, Philadelphie (Pennsylvanie).

Tomes, G.J.; Robertson, D.E.; Lightfoot, R.J.; Haresign, W. 1979. Sheep Breeding. Butterworths, Londres.

Tong, A.K.W.; Wilton, J.W.; Schaeffer, L.R. 1976. Evaluation of ease of calving for Charolais sires. Can. J. Anim. Sci. 56:17.

Turner, H.N. 1969. Genetic improvement of reproduction rate in sheep. Anim. Breed. Abstr. 37:545–563.

Turner, H.N. 1977. Australian sheep breeding research. Anim. Breed. (Abstr.) 45:9–31.

Turner, H.N.; Young, S.S.Y. 1969. Quantitative genetics in sheep breeding. Cornell University Press, Ithaca (N.Y.).

Utech, K.B.W.; Wharton, R.H. 1982. Breeding for resistance to *Boophilus microplus* in Australian Illawara Shorthorn and Brahman Australian Shorthorn cattle. Aust. Vet. J. 58:41–46.

Vaiman, M.; Renard, Ch.; Lafage, P.; Ameteau, J.; Nizza, P. 1970. Evidence for a histocompatibility system in swine (SLA). Transplantation 10:155–164.

Vangen, O. 1979. Studies on a two trait selection experiment in pigs. II. Genetic changes and realized genetic parameters in the traits under selection. Acta Agric. Scand. 29:305–319.

van Middelkoop, J.H.; Kuit, A.R.; Zegwaard, A. 1977. Genetic factors in broiler fat deposition. Pages 131–143 *in* Boorman, K.N.; Wilson, B.J., éditeurs. Growth and poultry meat production. Br. Poult. Sci. Edimbourg.

van Vleck, L.D. 1964. Young sire selection for commercial artificial insemination: Sampling the young sire in artificial insemination. J. Dairy Sci. 47:441–445.

van Vleck, L.D. 1970. Index selection for direct and maternal genetic components of economic traits. Biometrics 26:477–483.

van Vleck, L.D. 1976. Index selection for direct, maternal and grandmaternal genetic components of economic importance. Biometrics 32:173–181.

van Vleck, L.D. 1981. Potential genetic impact of artifical insemination, sex selection, embryo transfer, cloning, and selfing in dairy cattle. Pages 222–242 *in* Brackett, B.G.; Seidel, G.E., Jr.; Sewidel, S.M.; éditeurs. New technologies in animal breeding. Academic Press, New York (N.Y.).

Vesely, J.A.; Peters, H.F. 1979. Lamb growth performance of certain pure breeds and their 2-, 3-, and 4-breed crosses. Can. J. Anim. Sci. 59:349–357.

Vesely, J.A.; Peters, H.F. 1981. Lamb production from ewes of four breeds and their two-, three-, and four-breed crosses. Can. J. Anim. Sci. 61:272–277.

Vogeli, P. 1978. Das Verhalten von Merkmalen der Mastleistung und des Schlachtkorperwertes des Schweines bei Indexselektion auf zwei entgegengesezte Zuchtlinien. Diss. Eidgenossischen, Technischen Hochschule Zurich No. 6188, Juris Druck und Verlag, Zurich.

Wagner, T.E. 1985. The role of gene transfer in animal agriculture and biotechnology. Can. J. Anim. Sci. 655:539–552.

Wagner, T.E.; Hoppe, P.C.; Jollick, J.D.; School, D.R.; Hodinka, R.L. Gault, J.B. 1981. Microinjection of a rabbit -globin gene into zygotes and its subsequent expression in adult mice and their offspring. Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A. 78:6376–6380.

Walters, J.R.; Sellwood, R. 1982. Aspects of genetic resistance of K88 *E. coli* in pigs. C.R. 2e Congr. Mond. Génét. Appl. Prod. Anim., Madrid, 7:362–363.

Ward, K.A. 1982. Possible contributions of molecular genetics to animal improvement. Pages 17–39 *in* Barker, J.S.F.; Hammond, K.; McClintok, A.E., éditeurs. Future developments in the genetic improvement of animals. Academic Press, Australie.

Ward, K.A.; Franklin, I.R.; Murray, J.D.; Nancarrow, C.D.; Raphael, K.A.; Rigby, N.W.; Byrne, C.R.; Wilson, B.W.; Hunt, C.L. 1986. The direct transfer of DNA by embryo microinjection. C.R. 3e Congr. Mond. Génét. Appl. Prod. Anim., Lincoln (Neb.), 12:6–21.

Ward, K.; Sleigh, M.J.; Powell, B.C.; Ropers, G.E. 1982. The isolation and analysis of the major wool keratin gene families. RTC-2, 146-156. C.R. 2e Congr. Mond. Génét. Appl. Prod. Anim., Madrid, 6:146–156.

Warwick, E.J.; Legates, J.E. 1979. Breeding and improvement of farm animals. McGraw-Hill, New York (N.Y.).

Washburn, K.W.; Guill, R.A.; Edwards, H.M., Jr. 1975. Influence of genetic differences in feed efficiency on carcass composition of young chickens. J. Nut. 105:1311–1317.

Webel, S.K.; Dziuk, P.J. 1974. Effect of stage of gestation and uterine space on prenatal survival in the pig. J. Anim. Sci. 38:960–962.

Webb, A.J.; Carden, A.E.; Smith, C.; Imlah, P. 1982. Porcine stress syndrome in pig breeding. C.R. 2e Congr. Mond. Génét. Appl. Prod. Anim., Madrid, 6:588–608.

Webb, A.J.; King, J.W.B. 1976. Development of a synthetic pig sire line by selection with immigration. I. Results of selection and heritability estimates. Anim. Prod. 22:231–244.

Weisgold, A.D.; Almquist, J.O. 1979. Reproductive capacity of beef bulls. VI. Dairy spermatozoa production, spermatozoal reserves and dimensions and weight of reproductive organs. J. Anim. Sci. 48:351–358.

Wharton, R.H.; Utech, K.W.B.; Turner, H. 1970. Resistance to the cattle tick *Boophilus microplus* in a herd of Australian Illawara Shorthorn cattle: Its assessment and heritability. Aust. J. Agric. Res. 21:163–181.

Willadsen, S.M. 1982. Micromanipulation of embryos of the large domestic species. Pages 185–210 *in* Adams, C.E., éditeur. Mammalian egg transfer. CRC Press, Boca Raton (Floride).

Willeke, H.; Pirchner, F. 1982. Selection experiment for 5 androsterone in pigs and its side effects in fattening traits. C.R. 2e Congr. Mond. Génét. Appl. Prod. Anim., Madrid, 8:493–497.

Willham, R.L. 1963. The covariance between relatives for characters composed of components contributed by related individuals. Biometrics 19:18–27.

Willham, R.L. 1972. The role of maternal effects in animal breeding: III. Biometrical aspects of maternal effects in animals. J. Anim. Sci. 35:1288–1293.

Williams, A.J.; Winston, R. 1965. Relative efficiencies of conversion of feed to wool at three levels of nutrition in flocks genetically

different in wool production. Aust. Exp. Agric. Anim. Husb. 5:390–395.

Williams, B.G.; Blattner, F.R. 1980. Bacteriophage lambda vectors for DNA cloning. Pages 201–229 *in* Setlow, J.K.; Hollaender, A., éditeurs. Genetic engineering: Principles and methods, Vol. 2. Plenum Press, New York (N.Y.).

Williams, W.F.; Yver, D.R.; Gross, T.S. 1981. Comparison of estrus detection techniques in dairy heifers. J. Dairy Sci. 64:1378–1741.

Wilmut, I.; Hume, A. 1978. The value of embryo transfer to cattle breeding in Britain. Vet. Rec. 103:107–110.

Wilson, S.P. 1969. Genetic aspects of feed efficiency in broilers. Poult. Sci. 48:487–495.

Wilton, J.W. 1982. Choice of selection criteria in breeding for a defined objective. C.R. 2e Congr. Mond. Génét. Appl. Prod. Anim., Madrid, 6:60–69.

Wilton, J.W.; Morris, C.A. 1976*b*. Effects of reproductive performance and mating system on farm gross margins in beef production. Can. J. Anim. Sci. 56:171–186.

Wilton, J.W.; van Vleck, L.D.; Everett, R.W.; Guthrie, R.S.; Roberts, S.J. 1972. Genetic and environmental aspects of udder infections. J. Dairy Sci. 55:183–193.

Witter, R.L.; Nazerian, K.; Purchase, H.G.; Burgoyne, G.H. 1970. Isolation from turkeys of a cell associated herpesvirus antigenically related to Marek's disease virus. Am. J. Vet. Res. 31:525–538.

Wolf, B.T. 1982. An analysis of the variation in the lean tissue distribution of sheep. Anim. Prod. 34:257–264.

Wolf, B.T.; Smith, C.; Sales, D.I. 1980. Growth and carcass composition in the crossbred progeny of six terminal sire breeds of sheep. Anim. Prod. 31:307–313.

Wright, S. 1921. Systems of mating. Genetics 6:111–178.

Wu, J.S.; Zhang, W.C. 1982. Genetic analysis of some Chinese breeds as a resource for world hog improvement. C.R. 2e Congr. Mond. Génét. Appl. Prod. Anim., Madrid, 8:593–600.

Wyatt, J.M.F.; Siegel, P.B.; Cherry, J.A. 1982. Genetics of lipid deposition in the Japanese quail. Theor. Appl. Genet. 61:257–262.

Yates, F. 1934. The analysis of multiple classifications with unequal numbers in the different classes. J. Am. Stat. Assoc. 29:51–66.

Young, C.W.; Legates, J.E.; Lecce, G.G. 1960. Genetic and phenotypic relationships between clinical mastitis, laboratory criteria and udder height. J. Dairy Sci. 43:54–62.

Young, L.D.; Johnson, R.K.; Omtvedt, I.T.; Walters, L.E. 1976. Post-weaning performances and carcass merit of purebred and two breed cross pig. J. Anim. Sci. 42:1124–1132.

INDEX

Nota – Les chiffres en caractères gras se rapportent aux figures et les *t* se rapportent aux tableaux. Dans les deux cas, le chiffre correspond au numéro de la page où l'élément en question est représenté, et non au numéro de la figure ou du tableau.

Acrosine, 71
Amélioration génétique des animaux, 1–2, 81–82
    historique, 51–52
    limites à la sélection, 48
    orientation de la recherche, 9–10, 48–50, 57–59
    plans d'accouplement, 56–57
    progrès et perspectives, 48–50
    réduction de la diversité génétique, 5–6
    – voir aussi Résistance aux maladies; Transfert de gènes; chacun des animaux en particulier; Génétique moléculaire; Génétique quantitative; Génétique statistique
Analyse des empreintes digitales d'ADN, 80
Angus (bovin)
    gain pondéral et facilité de vêlage, 15*t*
    nombre d'animaux enregistrés, 13
Antigènes lymphocytaires, 63
Aquaculture, 3
Arthrogrypose, 18
Bovins
    effectif des populations, 3*t*
    infestations de tiques, 66
    taux de reproduction, 5
    – voir aussi Bovins de boucherie; Bovins laitiers; Vêlage; chacune des races particulières; Production laitière
Bovins de boucherie, 13–20
    caractère culard, 17, 57
    conversion des aliments, 19
    croisements, 14
    facilité de vêlage, 15*t*
    gain pondéral jusqu'à l'âge d'un an, 15*t*
    nanisme, 15, 57
    programme d'évaluation des taureaux, 13–14
    qualité et composition de la carcasse, 16–18
    recherches futures en amélioration génétique, 19–20
    réduction des coûts, 18–19
    statistiques de production, 14
    substitution des races, 14
    – voir aussi Angus; Bovins; Charolais; Hereford; Simmental; Shorthorn
Bovins laitiers, 9–13
    âge de vêlage, 12

aptitudes à la durée de vie, 73
caractères liés à la reproduction, 19
détection de l'oestrus, 71
efficacité alimentaire, 12–13
insémination artificielle, 6–7, 9–10, 71
mammite – voir Mammite
mortalité et maladie, 12
projet national d'amélioration génétique au Canada, 57,73
recherches futures en amélioration génétique, 13
réduction des coûts, 12
statistiques de production, 13–14
transfert d'embryons, 72
– voir aussi Production laitière
BQUE – voir Méthodes de l'estimateur sans biais quadratique

Cailles japonaises, 43
Caractère culard (bovins de boucherie), 17, 57
Carcinome oculaire (bovins), 84
Charolais
et possibilités d'amélioration génétique, 18
gain pondéral et facilité de vêlage, 15*t*, 17–18
nombre d'animaux enregistrés, 14
Chianina, 14
Clonage, 74
Conversion des aliments
chez les bovins de boucherie, 18–19
chez les bovins laitiers, 12–13
chez les porcins, 32*t*, 33–35
chez les poulets de chair, 44–45
chez les poulets de ponte, 40–41
Créatine-phosphokinase, 63
Croisement alternatif (bovins laitiers), 100
Croisement successif à des mâles F_1 (bovins laitiers), 100
Croisements
chez les bovins de boucherie, 14
chez les bovins laitiers, 73
et composition de la carcasse de boeuf, 16–18
et production d'agneaux, 24–25
et production ovine, 22
et production porcine, 27–30
et qualité de la carcasse des porcins, 31–33
– voir aussi Hétérosis
Cryopréservation (des embryons), 72

Diarrhée virale des bovins, 12
Dindons
troupeaux de reproduction, 5
myopathie dégénérative du *Musculus supracoracoideus*, 63
Diversité génétique, diminution dans la, 4–5

Dorset (ovin), 25
Duroc (porcin), 33
Dyschondroplasie tibiale (poulets à griller), 47
Dystocie (bovins laitiers), 13
Escherichia coli
    et diarrhée chez les porcins, 67, 79
    et transfert des gènes, 77
Évaluation génétique
    des ovins, 34
    des porcins, 36
Exons, 76

FAO – voir Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
Fertilisation *in vitro*, 74
Finnoise (ovin), 24–25
Fractionnement des embryons, 74

Gènes
    élimination, 78
    isolation, 76–77
Génétique – voir Amélioration génétique des animaux; Génétique biochimique; Génétique moléculaire; Génétique physiologique; Génétique quantitative; Génétique statistique
Génétique biochimique, 60
Génétique moléculaire, 75–80
    définition, 75–76
    orientation de la recherche, 78–80
    techniques, 76–77
    – voir aussi Transfert de gènes
Génétique quantitative, historique, 52–53
Génétique physiologique, 60–64
    orientation de la recherche, 63–64
Génétique statistique, méthodologie, 52–54
Génie génétique – voir Génétique moléculaire; Technologies de la reproduction
Groupe sanguin *B* (poulets de ponte), 60–61, 68

Hampshire (ovin), 22
Hampshire (porcin), 33
Hereford (bovin)
    gain pondéral et facilité de vêlage, 15*t*
    nombre d'animaux enregistrés, 14
Hétérosis (vigueur hybride)
    chez les bovins de boucherie, 15
    chez les bovins laitiers, 73
    chez les poulets de ponte, 41, 42
    effet négatif chez les poulets de chair, 44

élaboration de la théorie, 52–53
et gain pondéral chez les porcins, 30
et production porcine, 29*t*
Holstein – voir Bovins laitiers

Indice de sélection, 54–55
Indice de sélection pour caractères multiples – voir indice de sélection
Infestations de tiques (bovins), 90
Insémination artificielle, 71
des bovins laitiers, 5–6, 10–11
et la production porcine, 35
Interféron, 69
Introns, 76
Inverse de la matrice d'apparentement, 55

Jiaxing (porcin), 30
Jinhua (porcin), 30

Lacombe (porcin), 33
Landrace (ovin) – voir Finnoise
Landrace (porcin), 30, 33
Landrace française (porcin), 30
Large Spot (porcin), 29
Large White (porcin), 30, 33
Leucose lymphoïde (poulets), 37, 41, 62, 68
mécanisme d'infection, 79
Leucose lymphoïde aviaire – voir Leucose lymphoïde
Limites de la sélection, 48
LLV – voir Leucose lymphoïde
Lymposarcome (bovins), 63
Lysozyme, 69

Maladie de Marek (poulets), 68
résistance génétique à, 41, 45, 62
vaccination, 37
Maladie du muscle vert – voir Myopathie dégénérative du z *Musculus supracoracoideus*
Mammite (bovins laitiers), 12, 63, 67
Meishan (porcin), 30
Mérinos australien (ovin), 24
Mérinos Booroola (ovin), 25
Méthode de l'estimateur sans biais quadratique (BQUE), 54
Méthode du maximum de vraisemblance (ML), 53
Méthode du maximum restreint de vraisemblance (REML), 53–54
Ministère américain de l'agriculture (USDA), 37
Minpig (porcin), 29
ML – voir Méthode du maximum de vraisemblance
Myopathie dégénérative du *Musculus supracoracoideus*, 63

N'Dama (bovin), 69

Odeur sexuelle chez les porcins, 33
Oestrus
    détection, 71–72
    synchronisation, 71–72
Oeufs
    calibre et qualité, 38–40
    résistance de la coquille, 40, 62
Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 4
Ostéoporose, 58
Ovins, 20–26
    âge de la maturité sexuelle, 24–25
    caractères liés au rendement, 21–22
    croissance testiculaire, 24
    effectif des populations, 3*t*
    évaluation génétique, 26
    gain pondéral, 23
    gestation à contre-saison, 72
    qualité de la carcasse, 22–23
    recherches futures en amélioration génétique, 25–26
    réduction des coûts, 24–25
    statistiques de production, 20–21
    taux de reproduction, 5, 25
    tremblante du mouton – voir Tremblante du mouton
    – voir aussi chacune des races particulières; Production d'agneaux; Production de laine
Ovotransferrines, 61

Palatoschisis, 18
Para-influenza (bovins laitiers), 12
Parthénogénèse, 74
Phéromones, 74
Phosphohéxose isomérase, 31, 63
Piétrain (porcin), 33
Polymorphismes des protéines, 60
Polymorphismes enzymatiques, 60
Porcelets
    croisements et taille de la portée, 27–31
    diarrhée, 67–68
    taux de mortalité, 33–34
Porcs – voir Porcins
Porcins, 26–35
    caractères liés au rendement, 27–30
    croisements et production de porcelets, 31–33
    effectif des populations, 3*t*
    efficacité alimentaire, 32*t*, 33–34
    gain pondéral, 31
    odeur sexuelle, 33

qualité de la carcasse, 31–33
recherches futures en amélioration génétique, 35
réduction des coûts, 33–35
résistance aux maladies, 35, 62–63
secteur de l'amélioration génétique, 27–30
statistiques de production, 26–27
syndrome du stress chez le porc, 33, 57, 62–63
systèmes d'histocompatibilité (SLA), 33
taux de reproduction, 5, 27–28
taux d'ovulation, 27–28
– voir aussi Porcelets; chacune des races particulières

Poulets, 36–47
effectif des populations, 3*t*
secteur de l'amélioration génétique, 5–7
taux de reproduction, 5
– voir aussi Poulets de chair; Poulets de ponte
Poulets à griller – voir Poulets de chair
Poulets de chair, 42–48
caractères liés au rendement, 42
conversion des aliments, 45–46
gain pondéral, 45–46
maladies, 45–46, 48
qualité de la carcasse, 43–44, 45
recherches futures en amélioration génétique, 47–48
réduction des coûts, 44–45
statistiques de production, 42
Poulets de ponte, 36–42
caractères liés au rendement, 38–40
effet des génotypes du groupe sanguin *B*, 60
efficacité alimentaire, 40–41
évolution de la production, 36–37
recherches futures en amélioration génétique, 41–42
réduction des coûts, 40–41
résistance aux maladies, 41–42, 62–63, 66–69
secteur de l'amélioration génétique, 36, 41–42
statistiques de production, 36–37
– voir aussi Oeufs
Poulets Leghorn, 62
Prion, 67
Production d'agneaux
gestation à contre-saison, 72–73
programmes d'amélioration génétique, 21–22
qualité de la carcasse, 23
taux de reproduction, 24–25
– voir aussi Ovins
Production de laine
amélioration génétique, 22–23
réduction de la frisure, 22–23

Production laitière
amélioration génétique, 9–10
taux butyreux, 11*t*
Programme canadien d'évaluation des taureaux de boucherie, 14
Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), 4
Projet coopératif national d'amélioration génétique des bovins laitiers au Canada, 57–58
Proportions de gras – voir Qualité de la carcasse; Production de lait

Qualité de la carcasse
chez les bovins de boucherie, 14–16
chez les ovins, 20–21
chez les porcins, 27–30
chez les poulets de chair, 43–44, 45

Rambouillet (ovin), 25
Réaction à l'halothane, 33
REML – voir Méthodes du maximum restreint de vraisemblance
Résistance aux maladies, 62–70
à la maladie de Marek – voir Maladie de Marek
chez les bovins laitiers, 12, 63–65
chez les poulets de ponte, 41, 62
chez les porcins, 35, 62–63
chez les poulets de chair et dindons, 63
orientation de la recherche, 63–70
résistance aux tiques (bovins), 66
résistance aux trypanosomes, 66
Rhinite – voir Rhinite atrophique (porcins)
Rhinite atrophique (porcins), 35
Rhinotrachéite infectieuse des bovins, 15
Romanov (porcins), 24
Romney (ovin), 24

Shorthorn (bovin), 14
Simmental
gain pondéral et facilité de vêlage, 15t
nombre d'animaux enregistrés, 14
SLA – voir Porcins, système d'histocompatibilité
Sondes d'ADN, 79
Souche maternelle naine, 47
Station de recherches agricoles de Trangie (Australie), 21
Substitution des races, chez les bovins de boucherie, 12
Suffolk (ovin), 25
Superovulation, 71, 74
Syndactylie, 58
Syndrome de la mort subite, 46, 47
Syndrome du stress chez les porcs, 33, 58
résistance au, 62–63
Systèmes d'histocompatibilité

chez les poulets, 60–62
chez les porcins, 48
Système du groupe sanguin H et qualité de la carcasse chez les porcins, 31–63

Taihu (porcin), 29
Targhee (ovin), 25
Taux de fécondation – voir Taux de reproduction
Taux de reproduction
bovins, 5–7, 18–20
ovins, 5–7, 27–30
porcins, 5–7, 24–25
poulets, 5–7, 46–48
Technologies de reproduction, 70–75
détection de l'oestrus, synchronisation et superovulation, 71
recherches futures, 74–75
transfert d'embryons, 72, 74
– voir aussi Insémination artificielle
Texel (ovin), 25
Théorie du discriminant linéaire, 70
THK (poulets Leghorn), 62
THN (poulets Leghorn), 62
Transferrines, 61
Transfert de gènes
applications, 78–79
techniques, 74–75
Transfert d'embryons, 72, 74
Transfert d'oeufs, 76
Tremblante du mouton, 63, 67
Trypanosome (maladie du sommeil), 66

Veau «Comprest» (bovins de boucherie), 15
Veau «Snorter» (bovins de boucherie), 15
Veaux bouledogues, 19
Vêlage
âge chez les bovins laitiers, 14
chez les bovins de boucherie, 169*t*
sélection pour la facilité de vêlage, 22
Vigueur hybride – voir Hétérosis
Vitellogénine, 62
Volaille – voir Poulets; Poulets de ponte; Poulets de chair; Dindons

Xinhui (porcins), 29

Yorkshire (Large White) (porcin), 33

LIBRARY / BIBLIOTHEQUE
AGRICULTURE CANADA OTTAWA K1A 0C5
3 9073 00066570 5

Canadä